

ISSN 2664–505X (print)

ISSN 2664–5068 (online)

Міністерство освіти і науки України
Криворізький державний педагогічний університет

ЕКОЛОГІЧНИЙ ВІСНИК КРИВОРІЖЖЯ

ЗБІРНИК НАУКОВИХ ТА
НАУКОВО-МЕТОДИЧНИХ ПРАЦЬ

Засновано в 2002 році

Оновлено в 2015 році

Випуск 6

Кривий Ріг
2021

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 6

Kryvyi Rih
2021

УДК 502/504(477.63)+574

ЗАСНОВНИК І ВИДАВЕЦЬ:
КРИВОРІЗЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ ПЕДАГОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Рекомендовано до друку рішенням Вченої ради
Криворізького державного педагогічного університету
(протокол № 5 від 9 грудня 2021 р.)

- Головний редактор:* **Я. В. Маленко**, кандидат біологічних наук, Криворізький державний педагогічний університет (Кривий Ріг, Україна)
- В. М. Савосько**, кандидат біологічних наук, доцент, Криворізький державний педагогічний університет (Кривий Ріг, Україна)
(працював головним редактором випуску до 20.09.2021)
- Заступники головного редактора:* **Г. Хельмеір**, доктор філософії, професор, Гірнична академія та університет Технології (Фрайбург, Німеччина)
- Т. М. Альохіна**, кандидат біологічних наук, старший науковий співробітник, Державна наукова установа «Центр проблем морської реології, геоекології та осадового рудоутворення Національної академії наук України» (Кривий Ріг, Україна)
- Відповідальний секретар* **І. О. Комарова**, кандидат біологічних наук, Криворізький державний педагогічний університет (Кривий Ріг, Україна)

Члени редакційної колегії:

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

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

О. О. Кобрюшко, кандидат педагогічних наук, Криворізький державний педагогічний університет (Кривий Ріг, Україна)

І. П. Козловська, доктор сільськогосподарських наук, Білоруський державний аграрно-технічний університет (Мінськ, Білорусь)

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

П. П. Нечипуренко, кандидат педагогічних наук, доцент, Криворізький державний педагогічний університет (Кривий Ріг, Україна)

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

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

Збірник наукових на 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 **Yana Malenko**, Doctor of Philosophy (Biology),
Kryvyi Rih State Pedagogical
University (Kryvyi Rih, Ukraine)

Vasyl Savosko, Doctor of Philosophy (Biology),
Associate Professor, Kryvyi Rih State Pedagogical
University (Kryvyi Rih, Ukraine)
(worked as the editor-in-chief of the issue until 20.09.2021)

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

Tetiana Alohina, Doctor of Philosophy (Biology),
Senior Researcher, State Scientific Institution "Center for
Problems of Marine Geology, Geoecology and Sedimentary
Ore Formation of the National Academy of Sciences
of Ukraine" (Kryvyi Rih, Ukraine)

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

Members of the editorial board:

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

Nina Gnilusha, 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)

Eduard Yevtushenko, Doctor of Philosophy (Biology),
Associate Professor, Kryvyi Rih State Pedagogical University
(Kryvyi Rih, Ukraine)

Olexandr Kobryushko, Doctor of Philosophy (Pedagogy),
Kryvyi Rih State Pedagogical University (Kryvyi Rih, Ukraine)

Iryna Kozlovskaya, Doctor of Science (Agriculture),
Belarusian State Agrarian Technical University (Minsk, Belarus)

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

Pavlo Nechypurenko, Doctor of Philosophy (Pedagogy),
Associate Professor, Kryvyi Rih State Pedagogical University
(Kryvyi Rih, Ukraine)

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

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

Зміст

СУЧАСНІ ПРОБЛЕМИ ФУНДАМЕНТАЛЬНОЇ ЕКОЛОГІЇ

Т. А. Артюшенко

АСКОРБІНОВА КИСЛОТА В РОСЛИН: МЕТАБОЛІЗМ І ФУНКЦІЇ..... 13

Я. В. Маленко

ОСНОВИ ЕКОЛОГІЧНОГО ТЕРМІНОЗНАВСТВА: ПЕРЕДУМОВИ, АКТУАЛЬНІСТЬ, ІМПЛЕМЕНТАЦІЯ 33

АКТУАЛЬНІ ПИТАННЯ ПРИКЛАДНОЇ ЕКОЛОГІЇ ПРОМИСЛОВИХ РЕГІОНІВ

Є. О. Брошко, Е. О. Євтушенко

ФАУНА НАЗЕМНИХ ХРЕБЕТНИХ ЖОВТОКАМ'ЯНСЬКОГО КАР'ЄРУ 53

А. В. Головчак, Я. В. Маленко

ВИДОВИЙ СКЛАД ХВОЙНИХ РОСЛИН ЗЕЛЕНИХ НАСАДЖЕНЬ МЕТАЛУРГІЙНОГО ТА ДОВГИНЦІВСЬКОГО РАЙОНІВ МІСТА КРИВИЙ РІГ 72

О. М. Зубровська

АНАЛІЗ МУТАГЕНЕЗУ В АПКАЛЬНИХ МЕРИСТЕМАХ КОРЕНІВ *Zea mays* L. (POACEAE) ІНДУКОВАНОГО СУМІСНОЮ ДІЄЮ ІОНІВ КАДМІЮ, НІКЕЛЮ І ЦИНКУ.. 92

І. О. Комарова, Е. О. Євтушенко

ЕКОЛОГІЧНА СТРУКТУРА РОСЛИННИХ УГРУПОВАНЬ КРИВОРІЗЬКОГО УРБОПРОМИСЛОВОГО КОМПЛЕКСУ 106

- Н. О. Бондаренко, А. О. Ючинська Т. В. Селіванова,
П. П. Нечипуренко*
ОЦІНКА ЗАХИСНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ ВОДНИХ
РОСЛИННИХ ЕКСТРАКТІВ У СКЛАДІ ЕКСТРАКТУ-
ІНГІБІТОРА КОРОЗІЇ 119

ПРОБЛЕМИ ЕКОЛОГІЧНОЇ ОСВІТИ, ВИХОВАННЯ ТА МЕТОДИКИ НАВЧАННЯ ПРИРОДНИЧИХ ДИСЦИПЛІН

- Н. В. Гнілуша*
ТЕОРЕТИКО-МЕТОДИЧНІ ЗАСАДИ ЩОДО ЯКОСТІ
ПРОФЕСІЙНОЇ ЕКОЛОГІЧНОЇ ОСВІТИ В ЗАКЛАДАХ
ВИЩОЇ ОСВІТИ 131
- Р. М. Балабай, Я. В. Грицай*
СТАНОВЛЕННЯ ФІЗИЧНИХ КОМПЕТЕНТНОСТЕЙ УЧНІВ
У ДОСЛІДНИЦЬКИХ ЗАДАЧАХ 138

Contents

MODERN PROBLEMS OF FUNDAMENTAL ECOLOGY

T. A. Artiushenko

ASCORBIC ACID IN PLANTS: METABOLISM AND
FUNCTIONS 13

Ya. V. Malenko

BASICS OF ECOLOGICAL TERMINOLOGY:
PREREQUISITES, RELEVANCE, IMPLEMENTATION 33

CURRENT ISSUES OF THE APPLIED ECOLOGY AT INDUSTRIAL AREAS

Y. O. Broshko, E. O. Yevtushenko

FAUNA OF TERRESTRIAL VERTEBRATES OF
ZHOVTOKAM'YANSKY QUARRY 53

A. V. Holovchak, Ya. V. Malenko

SPECIES COMPOSITION OF CONIFEROUS GREEN
PLANTATIONS OF METALLURGICAL AND
DOVHYNTSIVSKY DISTRICTS OF KRYVVI RIH 72

O. M. Zubrovska

ANALYSIS OF MUTAGENESIS IN APICAL MERISTEMS
OF ROOTS *Zea mays* L. (POACEAE) INDUCED BY
COMBINED ACTION THE IONS OF CADMIUM,
NICKEL AND ZINC 92

I. A. Komarova, E. A. Yevtushenko

ECOLOGICAL STRUCTURE OF PLANT GROUPS OF
KRYVVI RIH URBAN INDUSTRIAL COMPLEX 106

*N. O. Bondarenko, A. O. Yuchynska, T. V. Selivanova,
P. P. Nechipurenko*

EVALUATION OF THE PROTECTIVE EFFECTIVENESS
OF AQUEOUS PLANT EXTRACTS IN THE
COMPOSITION OF CORROSION INHIBITOR EXTRACT 119

THE PROBLEMS OF ECOLOGICAL EDUCATION, UPBRINGING AND METHODS OF NATURAL SCIENCES

N. V. Gnilusha

THEORETICAL AND METHODOLOGICAL
PRINCIPLES ON THE QUALITY OF PROFESSIONAL
ECOLOGICAL EDUCATION IN HIGHER EDUCATION . 131

R. M. Balabay, Ya. V. Gritsay

FORMATION OF PHYSICAL COMPETENCIES OF
STUDENTS IN RESEARCH TASKS 138

СУЧАСНІ ПРОБЛЕМИ
ФУНДАМЕНТАЛЬНОЇ
ЕКОЛОГІЇ

MODERN PROBLEMS
OF FUNDAMENTAL
ECOLOGY

АСКОРБІНОВА КИСЛОТА В РОСЛИН: МЕТАБОЛІЗМ І ФУНКЦІЇ

Т. А. Артюшенко*

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

Анотація. Аскорбінова кислота (вітамін С) є найбільш поширеним антиоксидантом у рослинах. Охарактеризовано можливі шляхи біосинтезу вітаміну С у рослин, зокрема через ГДФ-d-манозу та l-галактозу. Наведені молекулярно-генетичні докази, а також відмінності від біосинтезу у тваринних організмів. За винятком останнього етапу, який протікає на внутрішній мітохондріальній мембрані, біосинтез аскорбату у рослин відбувається в цитозолі. Узагальнено літературні дані щодо вмісту аскорбінової кислоти в тканинах і органах різних сільськогосподарських, культурних і дикорослих рослин та фактори, що на нього впливають. Проаналізовано особливості метаболізму аскорбінової кислоти, співвідношення відновленої й окисненої її форм за різних фізіологічних станів, а також шляхи деградації вітаміну С у рослин. Розглянуто основні функції аскорбінової кислоти в рослинних організмах. Обговорена її участь як кофактора в синтезі збагачених гідроксипроліном глікопротеїнів клітинної стінки, роль у контролі клітинного поділу та росту розтягуванням, захисті від активних форм кисню й оксидативного стресу, фотоокислення та регенерації вторинних антиоксидантів, таких як α -токоферол, а також функціонування як коферменту в різних фізіолого-біохімічних процесах у рослин.

Ключові слова: аскорбінова кислота, дегідроаскорбінова кислота, 2,3-дикетогулонова кислота, антиоксиданти, біосинтез, деградація, ферменти, оксидативний стрес.

Вступ. Аскорбінова кислота (вітамін С) вперше була виділена з лимона в 1918 р., а пізніше, у 1930 р. — із капусти, надниркової залози бика та солодкого перцю. У 1933 р. її будова була остаточно встановлена та підтверджена хімічним синтезом [5]. За систематичною науковою номенклатурою IUPAC, назва «аскорбінова кислота» не зовсім правильна, оскільки за будовою вона є не кислотою, а γ -лактоном 2-кетогулонової кислоти в дієнольній формі. Вітамін С не має вільної карбоксильної групи, але йому притаманні кислі властивості внаслідок дисоціації одного з фенольних гідроксилів. Однак в сучасній як вітчизняній, так і закордонній літературі лишається найбільш уживаною назва вітаміну С — аскорбінова кислота. Стереоізомер l-аскорбінової кислоти — d-ізоаскорбінова

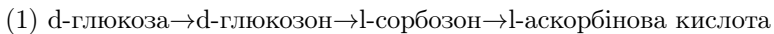
Продовження табл. 1

1	2
Табак справжній лінія ВУ-2, культура клітин	21 нг/мг с.р. – 165 мкг/г с.р. [20]
Тополя Боле, листки	0,012 мМ/г с.р. [9]
Тополя великолиста, листки	0,026 мМ/г с.р. [9]
Тополя канадська, листки	0,016–8,9 мМ/г с.р. [9, 14]
Тополя китайська, листки	0,019 мМ/г с.р. [9]
Тополя пірамідальна, листки	0,012 мМ/г с.р. [9]
Хеномелес низький, плоди	1,3 мМ/г с.р. [15]
Хеномелес японський, плоди	4,42–15,9 мМ/г с.р. [3, 16]
Шефердія срібляста, плоди	1,6–23,7 мМ/г с.р. [3, 16]
Шовковиця біла, плоди	5,7–9,7 мМ/г с.р. [16]
Шовковиця чорна, плоди	10,2 мМ/г с.р. [16]
Шипшина багатоквіткова, плоди	7,38 мМ/г с.р. [16]
Шипшина корична, плоди	86,9–175,7 мМ/г с.р. [16]
Шипшина сиза, плоди	63,6 мМ/г с.р. [16]
Шипшина собача, плоди	37,07 мМ/г с.р. [16]
Шипшина Юндзіла, плоди	52 мМ/г с.р. [16]
Шпинат огородній, листки	3,24–3,93 мкМ/г с.р. [11, 22]
аноласт	3,30 мМ/см ³ [11]
міжклітинний простір	3,92 мМ/см ³ [11]
Яблуня рясоквітуча, плоди	0,6–0,9 мМ/г с.р. [16]
Яблуня ягідна, плоди	0,08–1,0 мМ/г с.р. [16]

На рівень аскорбінової кислоти впливають конкретні умови зростання в районі інтродукції та природному ареалі, зокрема ґрунтові та кліматичні. Так, В. Д. Федоровським [4] показана залежність вмісту аскорбату в плодах *Ribes spicatum* Robson. та *Ribes palczewskii* (Janecz.) Rojark. від широтної зональності клімату та висотних поясів природних ландшафтів у горах. Зазначена залежність проявляється в збільшенні вмісту аскорбінової кислоти з підняттям до висоти 1500 м над рівнем моря, вище за яку знижується. Також необхідно зазначити, що в культурних популяціях її вміст вищий, ніж у природних [3, 4]. Водночас одним із ключових факторів, які впливають на накопичення вітаміну С у рослинних тканинах, є рівень освітлення [12]. Так, у плодах *Ribes hispidulum* (Janecz.) Rojark. його вміст під пологом лісу вдвічі менший, ніж на відкритій місцевості [4].

Шляхи біосинтезу аскорбінової кислоти в рослин. Більше 60 років тому F. A. Isherwood [10] запропонував шлях біосинтезу аскорбінової кислоти в рослин на основі обернення попередників d-галактози. Цей шлях включає обернення d-галактози — так званий «обернений» шлях, під час якого C₁ попередника стає C₆ аскорбату і навпаки. Останній етап цього шляху — окиснення l-галактоно-1,4-лактону до аскорбату ферментом l-галактоно-1,4-лактондегідрогеназою (ГЛДГ, КФ 1.3.2.3). Останній був очищений та охарактеризований у багатьох видів рослин [18]. Було продемонстровано, що метильний ефір d-галактуронової кислоти безпосередньо перетворюється на аскорбінову кислоту, також виявлений фермент, що каталізує НАДФ-залежне відновлення зазначеного ефіру. Однак його спорідненість до субстрату була низькою [13]. Незважаючи на це, прямих доказів участі d-галактози або попередників цукрів в цьому ланцюзі на сьогодні немає. Водночас у роботах групи дослідників під керівництвом F. A. Loewus [22] показано, що залучення d-глюкози до біосинтезу аскорбату переважно (80%) відбувається без обернення вуглецевого скелету. Отже, біосинтез вітаміну С з d-глюкози в рослин, на відміну від тварин, відбувається, імовірно, не за «оберненим» шляхом.

У 1990 році F. A. Loewus [11] запропонував альтернативний шлях біосинтезу аскорбату з d-глюкози, за яким обернення вуглецевого скелету не відбувається (рис. 1):



За цією схемою d-глюкоза спершу окиснюється за C₂ до d-глюкозону піранозо-2-оксидазою, d-глюкозон потім епімеризується за C₅ і утворює l-сорбозон. Аскорбінова кислота утворюється окисненням останнього. Докази цієї схеми ґрунтуються на включенні радіоактивної мітки d-глюкози та d-глюкозону до аскорбінової кислоти. Фермент, що каталізує НАДФ-залежне окиснення l-сорбозону до аскорбату, був частково очищений. Однак висока K_mс орбозондегідрогенази як до l-сорбозону, так і до d-глюкозону суперечить фізіологічній ролі цього ферменту в рослин. Крім того, незважаючи на те, що піранозо-2-оксидаза була ідентифікована в деяких базидіоміцетів, здатність рослинних ферментів перетворювати d-глюкозу на d-глюкозон або d-глюкозон на l-сорбозон на сьогодні не підтверджена [9]. Водночас N. Smirnoff [23] установив, що дегідрогеназа l-галактози також здатна повільно каталізувати окиснення l-сорбозону, що може свідчити на користь цього шляху. Наведена вище схема біосинтезу вітаміну С лишається дискусійною та вважається не основною в рослин.

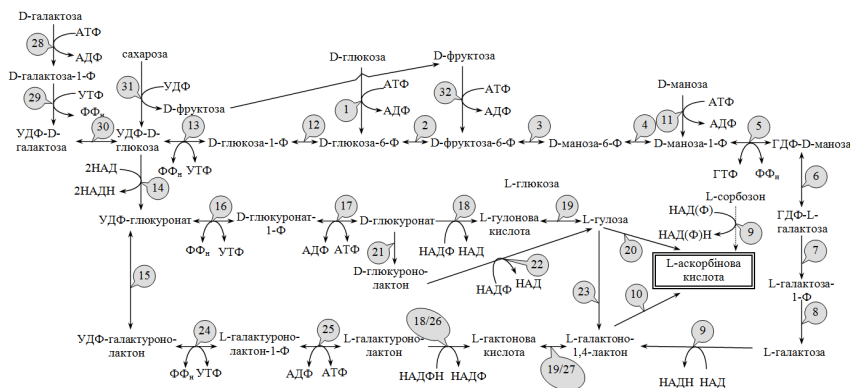
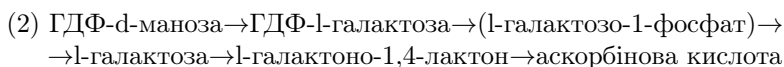


Рис. 1. Можливі шляхи біосинтезу аскорбінової кислоти в рослин

Figure 1. Possible ways of ascorbic acid biosynthesis in plants

1: гексокіназа, також каталізує реакцію 11; 2: глюкоза-6-фосфатізомераза; 3: маноза-6-фосфатізомераза; 4: фосфоманозомутаза; 5: маноза-1-фосфаттрансфераза; 6: ГДФ: 3,5-епімераза; 7: гідролаза; 8: фосфатаза; 9: галактоза-1-дегідрогеназа; 10: l-галактоно-1,4-лактондегідрогеназа; 11: d-манозокіназа/гексокіназа; 12: фосфоглюкомутаза; 13: УТФ-глюкоза-1-фосфатуриділтрансфераза; 14: УДФ-d-глюкозадегідрогеназа; 15: УДФ-глюкуронат-1-епімераза; 16: глюкуронат-1-фосфатуриділтрансфераза; 17: d-глюкуронокіназа; 18: d-глюкуронатредуктаза; 19/27: альдонолактоназа/спонтанно; 20: l-гулоно-1,4,лактонооксидаза/дегідрогеназа; 21: уролактоназа або спонтанна лактонізація; 22: глюкуронолактонредуктаза, можливо, каталізує реакцію 18; 23: галактоно-1,4-лактон-3-епімераза; 24: галактуронат-1-фосфатуриділтрансфераза; 25: галактурінокіназа; 26: d-галактуронатредуктаза; 28: d-глюкоза-4-епімераза; 29: d-галактокіназа; 30: УТФ-гексоза-1-фосфатуриділтрансфераза; 31: сахарозсинтаза; 32: фруктокіназа

На сьогодні переважним є так званий «манозний» шлях біосинтезу аскорбату через ГДФ-d-манозу та ГДФ-l-галактозу (рис. 2):



Початкові етапи цього шляху до ГДФ-l-галактози є, крім того, ланкою в синтезі попередників полісахаридів клітинної стінки. За аналогією до шляху, запропонованого F. A. Isherwood [10], останній крок каталізується ГЛДГ. Однак за цією схемою перетворення d-глюкози на

аскорбінову кислоту відбувається без обернення вуглецевого скелету гексози, що підтверджено даними F. A. Loewus [22]. Указані автори встановили, що l-галактоза є попередником аскорбату *in vivo* та частково очистили фермент дегідрогеназу l-галактози, яка каталізує НАД-залежне окиснення C₁ l-галактози до l-галактоно-1,4-лактону з K_m для l-галактози 0,3 мМ. Цей же ензим здатен повільно окислювати l-сорбозон до l-аскорбінової кислоти з низькою спорідненістю до субстрату. Відомо, що ГДФ-l-галактоза синтезується подвійною епімеризацією ГДФ-d-манози. Ця реакція каталізується відомим, однак мало дослідженим ферментом ГДФ-d-маноза-3,5-епімеразою [7].

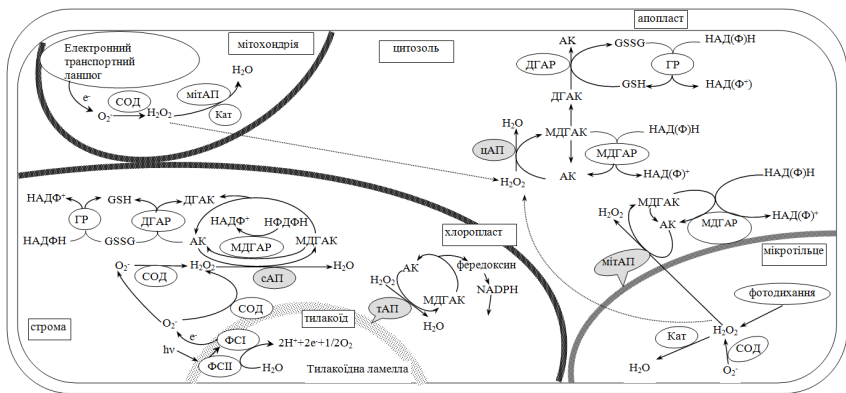


Рис. 2. Схема участі аскорбінової кислоти в детоксикації активних форм кисню та її метаболізму в рослинних клітинах

Figure 2. Scheme of ascorbic acid participation in detoxification of reactive oxygen species and its metabolism in plant cells
 АК: ascorbic acid; ДГАК: dehydroascorbic acid; МДГАК: monodehydroascorbic acid; митАП: mitochondrial ascorbate peroxidase; сАП: stromal ascorbate peroxidase; тАП: tylakoyidna membrane-bound ascorbate peroxidase; мАП: membrane-bound microbody ascorbate peroxidase; цАП: cytosolic ascorbate peroxidase; НП: nonspecific peroxidase; ДГАР: dehydroascorbate reductase; МДГАР: monodehydroascorbate reductase; СОД: superoxide dismutase; Кат: catalase; GR: glutathione reductase; GSH: reduced glutathione; GSSG: oxidized glutathione; ФСІ: photosystem I; ФСІІ: photosystem II

Згідно з літературними даними перетворення сечової кислоти на l-аскорбінову кислоту вважається ще одним альтернативним шляхом біосинтезу [10, 11, 22]. Було показано, що d-глюкуронова

кислота, глюкуронолактон і метильний ефір d-галактуроної кислоти безпосередньо перетворюються на l-аскорбат *in vivo* за схемою, що передбачає обернення конфігурації структури. Дослідження інтенсивності біосинтезу вітаміну С у суспензійній культурі клітин *Arabidopsis thaliana* L. показали, що додавання l-галактози, l-галактоно-1,4-лактону та інших сполук підвищує внутрішньоклітинний рівень аскорбату *in vivo*. Був побудований наступний ряд за зростанням здатності до посилення рівня біосинтезу аскорбінової кислоти: d-глюкуронолактон < метильний ефір d-глюкуронової кислоти = l-гулоно-1,4-лактон < метильний ефір d-галактуронової кислоти = l-галактоно-1,4-лактон < l-галактоза. Метильний ефір d-галактуронової кислоти може бути відновлений неспецифічною альдо-кеторедуктазою з утворенням l-галактоно-1,4-лактону — субстрату ГЛДГ. Отже, перетворення d-глюкуронолактону, метильного ефіру d-глюкуронової кислоти та l-гулоно-1,4-лактон на аскорбінову кислоту підтверджує можливість існування окремого так званого «тваринного» шляху в біосинтезі вітаміну С у рослин. Очищена ГЛДГ з листків *Spinacia oleracea* L. та *Arabidopsis thaliana* L. характеризується абсолютною субстратною специфічністю до l-галактоно-1,4-лактону та не проявляє активності щодо l-гулоно-1,4-лактону [18]. Відмінність внутрішньоклітинної локалізації l-гулоно-1,4-лактон-залежного утворення та ГЛДГ також свідчить на користь вищезазначеної гіпотези. Взаємозв'язки між усіма можливими шляхами біосинтезу аскорбінової кислоти узагальнені на рисунку 1.

Отже, біосинтез аскорбату в рослинних організмів, очевидно, відбувається або за певних умов, або в специфічних тканинах порізно. Наприклад, d-глюкуронова та d-галактуронова кислоти — основні компоненти полісахаридів не целюлозної частини клітинної стінки. Утворення аскорбату з цих сполук, імовірно, є елементом захисту клітинної стінки від руйнування під час росту розтягненням, дозрівання пилку, розм'якшення плодів у процесі дозрівання тощо.

Метаболізм аскорбату. Окиснення аскорбінової кислоти відбувається у два етапи. Першим продуктом, що утворюється при цьому, є монодегідроаскорбінова кислота, яка може бути відновлена до аскорбінової або повністю окислюватися до дегідроаскорбінової кислоти. Остання є нестабільною за рН 7,0 і може відновлюватись до аскорбінової, або піддаватися незворотній гідролітичній дециклізації з утворенням 2,3-дикетогулонової кислоти [8]. Подальші реакції циклу аскорбінової кислоти в клітині спрямовані на відновлення окиснених її форм і включають як ферментативні,

так і неферментативні механізми. Ферментативні реакції відновлення монодегідроаскорбінової та дегідроаскорбінової кислот каталізуються монодегідроаскорбатредуктазою та дегідроаскорбатредуктазою відповідно [9]. Як донори протонів у цих реакціях можуть використовуватись різні сполуки (відновлений глутатіон, НАДН, аскорбінова кислота). Під час неферментативного шляху відновлення процес не досягає завершальної фази, а кінцевим продуктом цих нестехіометричних реакцій є лише дегідроаскорбінова кислота. Разом із глутатіонредуктазою, яка відновлює окиснений глутатіон, зазначені вище ферменти та сполуки утворюють аскорбат-глутатіоновий цикл (рис. 2).

Відомо, що в рослинних клітинах присутні всі три компоненти аскорбатної системи — аскорбінова, дегідроаскорбінова та 2,3-дикетогулонова кислоти. За нормальних фізіологічних умов рівновага між ними сильно зсунута до аскорбінової кислоти [6, 19], і цей стан характеризує резервні властивості антиоксидантної системи, її здатність у певних межах стабілізувати про/антиоксидантну рівновагу, зв'язуючи та знешкоджуючи активні форми кисню, органічні пероксиди [17]. Рівень співвідношення аскорбінової до дегідроаскорбінової кислот досить високий у хлоропластах *in vivo* і не змінюється на світлі та в темряві [15]. Водночас експерименти F. Tommasi зі співавторами [24] показали відсутність відновленої форми аскорбінової кислоти в сухому насінні *Pinus pinea* L., де була виявлена лише дегідроаскорбінова кислота. Вважається, що утворення відновленого аскорбату у проростаючому насінні зумовлене біосинтетичним шляхом, а не метаболітичним.

Показано, що на рівні аскорбінової та дегідроаскорбінової кислот впливає багато зовнішніх чинників, зокрема двовалентні катіони [2, 8, 9]. Підтверджено, що підвищення дегідроаскорбінової кислоти у клітинах може призвести до інгібування ряду ферментів аскорбатного циклу [8, 9]. S. Morell зі співробітниками [14] доводять, що в хлоропластах дегідроаскорбінова кислота не накопичується через високу активність монодегідроаскорбатредуктази. Разом з цим концентрація дегідроаскорбінової кислоти 50 мкМ *in vivo* інгібує активність ряду хлоропластних пігментів. Високі рівні дегідроаскорбінової кислоти, виявлені під час експозиції рослин *Helianthus annuus* L. за високих концентрацій ацетату свинцю, свідчать про непряме інгібування нею ферментів відновлення аскорбату [1]. Більше того, відбувається накопичення 2,3-дикетогулонової кислоти, а це, як відомо [7, 8], процес незворотній.

Шляхи деградації аскорбінової кислоти в рослин на сьогоднішній день з'ясовані не в повній мірі, за винятком того, що розщеплення вуглецевого каркасу l-аскорбінової кислоти дає початок тартрату й оксалату. Оксалат — нормальний продукт у тканинах вищих рослин — імовірно, бере участь в осморегуляції і контролюванні концентрації кальцію. За даними N. Smirnoff [19, 23], оксалат, утворений із апопластної l-аскорбінової кислоти разом з оксалаатоксидазою відіграє значну роль у розтягненні клітинної стінки. Було показано, що перетворення аскорбату у винну кислоту в листках *Pelargonium crispum* залежить від фази розвитку. Так, утилізація аскорбінової кислоти відбувається протягом короткого періоду, який співпадає з періодом цвітіння [21]. Оксалат утворюється з C₁/C₂ фрагменту, тоді як треоза окислюється до l-тартрату. Причому акумуляція оксалату не завжди супроводжується накопиченням l-тартрату, що пояснюється декарбоксілюванням треози до трьохвуглецевого продукту.

У деяких видів рослин (наприклад, *Parthenocis susquinquefolia* (L.) Planch., *Vitis vinifera* L.) утворення тартрату є результатом розриву ковалентного зв'язку між C₄ та C₅ аскорбінової або дегідроаскорбінової кислот [7]. Двохвуглецевий фрагмент, що утворюється при цьому, надходить до вуглецевого метаболізму, скоріш за все, у вигляді глікоальдегіду. У видів, яким властиве накопичення винної кислоти C₄/C₅, розщеплення аскорбінової кислоти представляє основний шлях. Натомість в інших видів біосинтез оксалату з аскорбінової кислоти — не провідний шлях утворення щавлевої кислоти, тому що оксалат утворюється окисненням гліколевої кислоти, розщепленням ізолимонної кислоти ізоцитратліазою та щавелевооцтової кислоти оксалацетазою [9, 21]. Такий шлях біосинтезу оксалату в рослин був підтверджений за допомогою мічених атомів і вважається ланкою катаболізму аскорбінової кислоти. Перетворення останньої до оксалату є енергетично ефективним, оскільки лише 50% вуглецю, що походить з аскорбату, може бути трансформовано в центральному метаболізмі (через l-треозу). До того ж пероксид водню, який утворюється під час окиснення оксалату оксалаатоксидазою, зумовлює виникнення оксидативного стресу і, тим самим, підсилює обіг аскорбінової кислоти.

Продукт незворотного окиснення аскорбату — 2,3-дикетоглуконова кислота — спершу декарбоксілюється до l-ліксонату та l-ксилонату і надходить до пентозофосфатного циклу у вигляді d-ксилоза-5-фосфату. Останній разом з еритроза-4-фосфатом перетворюється транскетолазою на гліцеральдегід-3-фосфат і фруктоктозу-6-фосфат. У такий спосіб фруктоза поповнює клітинний пул гексоз і, також може

бути використана для біосинтезу аскорбінової кислоти. Ферменти пентозофосфатного циклу локалізовані і в стромі хлоропластів, і в цитозолі. Нез'ясованим лишається питання наявності в цитозолі повного набору необхідних ферментів [9, 20]. Функціонування такого циклу в рослинних клітинах може пояснювати відсутність специфічних ферментів катаболізму l-аскорбінової кислоти.

Транспорт аскорбінової кислоти в рослин. Як зазначалось вище, останній крок біосинтезу аскорбату каталізується ГЛДГ, яка є мітохондріальним ферментом [18]. Оскільки вітамін С є одновалентним аніоном і за фізіологічних рН не здатен перетинати мембрану, він має транспортуватися через мембрани всіх клітинних компартментів, включаючи хлоропласти, апопласт і вакуоль. Установлено, що в очищених хлоропластах транспорт аскорбату відбувається опосередковано за участю переносника шляхом полегшеної дифузії [20]. За даними [9, 18], приблизно 10–20% хлоропластної аскорбінової кислоти асоційовано з внутрішньою тилакоїдною мембраною, транспорт через неї відбувається лише дифузійно [9].

Апопластна аскорбінова кислота бере участь у захисті клітин від оксидативного стресу [6, 9, 19] та регуляції розтягнення клітин [16]. Для функціонування системи мембранного транспорту в рослин необхідна підтримка певної концентрації апопластного аскорбату та балансу окиснення/відновлення аскорбат/дегідроаскорбату. Було показано, що у *Glycin max* Moench. поглинання екзогенної аскорбінової кислоти коренями та листками — енергетично-залежний процес [12, 13]. Дослідження кінетики насичення під час поглинання аскорбінової та дегідроаскорбінової кислот у протопластах листків *Pisum sativum* L. засвідчило, що цей процес відбувається, імовірно, опосередковано за допомогою переносника за електрохімічним протонним градієнтом [9]. Використання очищених везикул плазматичної мембрани дозволило встановити, що шляхом полегшеної дифузії дегідроаскорбінова кислота поглинається краще порівняно з аскорбатом [9]. Поглинання зовнішньої дегідроаскорбінової кислоти *in vitro* відбувається в обмін на внутрішню (цитозольну) аскорбінову кислоту, тобто везикули з аскорбатом стимулюють поглинання дегідроаскорбату — так звана транс-стимуляція. Оптимум рН для такого транспорту 6–7,5, а K_m для дегідроаскорбінової кислоти 24 мМ [9, 14]. Ідентифікація цього носія та його взаємовідносини з іншими транспортними білками на сьогоднішній день не з'ясовані. Не встановленим також лишається питання існування додаткових переносників аскорбату/дегідроаскорбату в плазматичних мембранах рослин, однак є докази того, що транспорт вітаміну С через

плазматичну мембрану може відбуватися за допомогою переносників глюкози. Трансмембранний електронний транспорт апопластної монодегідроаскорбінової кислоти в обмін на цитозольну аскорбінову кислоту, імовірно, відбувається за аналогічною схемою з участю мембранно-зв'язаного цитохрому *b* [9, 22]. Останній становить 0,1–0,5% від загальних мембранних білків і присутній у всіх типах тканин.

Роботами А. Mozafar [16] показано, що поглинута коренями мічена ізотопами аскорбінова кислота була виявлена в інших органах рослини. Отже, окрім внутрішньоклітинного, для 1-аскорбінової кислоти характерний також транспорт всією рослиною. Проте на сьогодні немає ніякої інформації щодо дальнього транспорту аскорбінової кислоти ксилемою або флоемою, до того ж висока рН цих можливих потоків дестабілізувала б як аскорбінову, так і дегідроаскорбінову кислоти, за виключенням можливості транспорту аскорбату в стійкій формі, приміром, у формі глюкозильованих або фосфорильованих похідних.

Функції аскорбінової кислоти в рослинних організмах. Біологічні функції аскорбінової кислоти можна поділити на три основні групи: по-перше, функціонування як кофактора ферментів, по-друге, детоксикація вільних радикалів і, по-третє, її роль як донора/акцептора електронного транспорту в плазматичній мембрані або в хлоропластах. Крім того, у рослин аскорбат є субстратом у біосинтезі оксалату і тартрату.

Однією з найбільш досліджених функцій аскорбінової кислоти в метаболізмі як тварин, так і рослин є контролювання багатьох важливих ферментативних реакцій. Зазначені ферменти переважно є моно- або діоксигеназами, активний центр яких містить залізо або мідь [8]. Роль вітаміну С полягає в підтримці металу активного центру у відновленій формі. Діоксигенази каталізують включення O_2 в органічні субстрати. Переважно вони використовують 2-оксоглутарат, Fe^{2+} й аскорбат як ко-субстрати. Однак деякі відмінності в ко-субстратній специфічності все ж існують. Наприклад, замість 2-оксоглутарату як субстрат аскорбінову кислоту використовує останній фермент біосинтезу етилену аміноциклопропан-1-карбоксилоксидаза [9], а також гібереллін-3-діоксигеназа, яка бере участь в синтезі гібереллінової кислоти. Аналогічно аскорбат окислюється віолоксантиндепоксидазою під час синтезу фотозахисних пігментів ксантофілового циклу.

Пролілігдроксилаза, яка гідрокслює залишки проліну в гідроксипролін-збагачених глікопротеїнах, також є аскорбатзалежним ферментом. Гідроксипролін-збагачені глікопротеїни є структурними протеїнами клітинної стінки. Вони відіграють важливу роль у її

зборці та захищають від оксидативного кросс-зв'язування. Таке кросс-зв'язування зміцнює клітинну стінку та перешкоджає пораненню й інвазії патогенами. Апопластний аскорбат здатний змінювати властивості плазматичної мембрани, у тому числі пригнічувати зв'язування гідроксипролін-збагачених протеїнів фенолами. Обробка коренів цибулі 3,4-dl-дегідропроліном — інгібітором пролілгідроксилази призводила до порушення знов-сформованих стінок і надмірного розтягнення клітин [9]. Водночас концентрація аскорбінової кислоти підвищувалась. Це свідчить про те, що використання аскорбату пролілгідроксилазою — основна його функція в меристемах [1].

Як зазначалось вище, аскорбінова кислота бере участь у нейтралізації супероксидних радикалів, синглетного кисню та супероксиду. Токсичність зазначених активних форм кисню (АФК), які утворюються в хлоропластах, мітохондріях та пероксисомах як побічні продукти нормального клітинного метаболізму, обумовлена їх здатністю ініціювати каскадні радикальні реакції й утворення гідроксильних радикалів. Останні здатні посилювати пероксидне окиснення ліпідів, пошкодження білків, ДНК і в результаті призводити до загибелі клітини. Тому в аеробних організмів розвинувся ряд ефективних механізмів знешкодження АФК за участю як ферментативних, так і неферментативних ланок. Серед ферментативних механізмів основні — дисмутація супероксиду до пероксиду водню, яка каталізується супероксиддисмутазою (КФ1.15.1.1) та детоксикація пероксиду водню аскорбатпероксидазою (КФ 1.11.1.11), глутатіонпероксидазою (КФ 1.11.1.9) та каталазою (КФ 1.11.1.6). Низькомолекулярні антиоксиданти такі як глутатіон, аскорбінова кислота, α -токоферол, каротиноїди, а також феноли можуть безпосередньо взаємодіяти з АФК. У цьому аспекті слід наголосити на користі для організму контрольованої продукції АФК. Наприклад, під час взаємодії «рослина-патоген» хвороботворний організм стимулює розвиток оксидативного стресу й у такий спосіб координує захисну відповідь опосередковану АФК. Отже, так аскорбінова кислота контролює інтенсивність, тривалість і характер відгуку організму на стресові умови.

На світлі в хлоропластах вищих рослин, унаслідок передачі високоенергетичних електронів з відновленого фередоксину фотосинтетичного електронного транспортного ланцюгу до кисню, утворюються АФК. Таке фотовідновлення кисню в фотосистемі I називається реакцією Мехлера, а повна передача електронів води до молекулярного кисню — псевдоциклічним потокомелектронів. Останній забезпечує механізм розсіювання додаткової енергії (і продукції АТФ)

в умовах обмеженої фіксації вуглецю. Відомо, що в хлоропластах відсутня каталаза, яка локалізується в пероксисомах та гліоксисомах, і тому роль аскорбінової кислоти як субстрату аскорбатпероксидази є визначальною під час знешкодження пероксиду водню в тилакоїдах. Ізоферменти аскорбатпероксидази наявні в хлоропластах (stromalна й тилакоїдна), цитозолі, мітохондріях і пероксисомах.

Крім того, що аскорбінова кислота може реагувати з супероксидом та гідроксильними радикалами, вона також може безпосередньо відновлювати α -токоферол (вітамін Е). Він є основним ліпофільним антиоксидантом, який взаємодіє з пероксильними радикалами ліпідів та O_2^- . Тому хлоропластна аскорбінова кислота представляє потенційний антиоксидантний пул, що перетворює небезпечні пероксильні радикали на нетоксичні продукти.

Важливу роль вітамін С відіграє також у захисті фотосинтетичного апарату від кисневих радикалів і перекису водню, які утворюються під час фотосинтетичної активності, та від фотоінактивації як кофактор каратиноїддепоксигенази. Інша функція аскорбінової кислоти в фотосинтезі — її участь як кофактора у фотосинтетичному електронному транспорті, що пов'язаний із фотофосфорилуванням [9]. Останній відбувається за участю аскорбатпероксидази, яка розкладає перекис водню з утворенням монодегідроаскорбінової кислоти, що є акцептором електронів на відновлюючій поверхні фотосистеми I [12]. Аскорбінова кислота використовується як відновлювач під час фотосинтетичного електронного транспорту і не завжди окиснюється до дегідроаскорбату в хлоропластах за рахунок того, що в тилакоїдах підтримується фотохімічне відновлення дегідроаскорбату [6], який може утворюватись у результаті диспропорціонування монодегідроаскорбату.

Висновки. Пізнання регуляторних механізмів обмінних процесів загалом, і регуляції біосинтезу таких фізіологічно активних сполук, як аскорбінова кислота зокрема, є актуальним для фізіології рослин. Аскорбінова кислота виконує важливі функції в житті рослин і людини, водночас участь вітаміну С у метаболізмі гетеротрофних організмів конкретизована більшою мірою. Що ж до автотрофів, які продукують аскорбат, то ще потребують уточнення і функції цієї сполуки, і шляхи її новоутворення. Вміст аскорбінової кислоти в рослинах визначається багатьма процесами, що протікають одночасно, а регуляція її накопичення вимагає узгодженої їх роботи. Це можливо не тільки за нормального функціонування рослин, але й у стресових

умовах, які зазвичай супроводжуються посиленням біосинтезу й використання аскорбату.

Також для всебічної оцінки ролі аскорбінової кислоти в метаболізмі рослин необхідне одночасне дослідження всієї системи аскорбату, що включає, окрім дегідроаскорбінової, ще й 2,3-дикетоглуонову кислоту, яка утворюється під час незворотньої трансформації внаслідок розриву лактонового кільця дегідроаскорбату, а також ферментні ланки, що каталізують окислення та відновлення вищезазначених сполук. Сучасний розвиток молекулярно-генетичних методів, безперечно, доповнює фізіолого-біохімічний підхід до вивчення вітаміну С і розширює простір можливостей у зв'язку з перспективою біотехнологічного використання рослинних об'єктів із метою отримання важливих метаболітів.

References

1. Mykiiievych, I. M. (2003). Rol askorbinovoi kysloty ta fermentiv y ii metabolizmu v adaptatsii roslyn do toksychnoi dii ioniv svyntsiu [The role of ascorbic acid and enzymes of its metabolism in the adaptation of plants to the toxic effects of lead ions]. (*avtoreferat kandydatskoi dysertatsii*). Lviv, Ukraina. (in Ukrainian).
2. Ostrenko, K. S., Halochkyn, V. A., Hromova, O. A., Rastashanskiy, V. V., & Torshyn, Y. Iu. (2017). Askorbat anion — effektivni protyvostressovi lyhand novoho pokoleniya dlia lytyia. [Ascorbate anion is an effective new generation anti-stress ligand for lithium]. *Farmakokynetyka y Farmakodynamyka. [Pharmacokinetics and Pharmacodynamics]*, 2, 45–55. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/askorbat-anion-effektivnyy-protivo-stressovyy-ligand-novogo-pokoleniya-dlya-litiya> (in Ukrainian).
3. Petrova, V. P. (1986). Byokhymyia dykorastushchych plodovoyahodnykh rastenyi [Biochemistry of wild fruit and berry plants]. K.: Vyscha shkola. (in Ukrainian).
4. Fedorovskiy, V. D. (2001). Ribes spicatum Robson — smorodyna kolosystaia (systematyka, heohrafiya, yzmenchivost, yntroduktsyia). [Ribes spicatum Robson — currant (taxonomy, geography, variability, introduction)]. K.: Fitotsentr. (in Ukrainian).
5. Arrigoni, O., & De Tullio., M. C. (2000). The role of ascorbic acid in cell metabolism: between gene-directed function and

- unpredictable chemical reactions. *J. Plant Physiol.*, 157, 481–488. [https://doi.org/10.1016/S0176-1617\(00\)80102-9](https://doi.org/10.1016/S0176-1617(00)80102-9)
6. Conklin, P. L., & Barth, C. (2004) Ascorbic acid, a familiar small molecule intertwined in the response of plants to ozone, pathogens, and the onset of senescence. *Plant Cell Environ.*, 27, 959–970. <https://doi.org/10.1111/j.1365-3040.2004.01203.x>
 7. Davey, M. W., Van Montagu, M., Inze, D., Sanmartin, M., Kanellis, A., Smirnoff, N., Iris, J. J., Benzie, I. J. J., Strain, J., Favell, D., & Fletcher, J. (2000). Plant L-ascorbic acid: chemistry, function, metabolism, bioavailability and effects of processing. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 80, 825–860. [https://doi.org/10.1002/\(SICI\)1097-0010\(20000515\)80:7<825::AID-JSFA598>3.0.CO;2-6](https://doi.org/10.1002/(SICI)1097-0010(20000515)80:7<825::AID-JSFA598>3.0.CO;2-6)
 8. De Tullio, M. C., Pacciolla, C., & Arrigoni, O. (2002). Identification and analysis of sharing dehydroascorbate reductase activity. *Biol. Plant.*, 45 (1), 145–147. <https://doi.org/10.1023/A:1015145818294>
 9. Foyer, C. H., Kynndt, T., & Hancock, R. D. (2020). Vitamin C in Plants: Novel Concepts, New Perspectives, and Outstanding Issues. *Antioxidants and Redox Signaling*, 32 (7), 463–485. <https://doi.org/10.1089/ars.2019.7819>
 10. Isherwood, F. A., Chen, Y. T., & Mapson, L. W. (1954). Synthesis of L-ascorbic acid in plants and animals. *Biochem. J.*, 56, 1–21. <https://doi.org/10.1042/bj0560001>
 11. Loewus, M. W., Bedgar, D. L., Saito, K., & Loewus, F. A. (1990). Conversion of L-sorbosone to L-ascorbic acid by a NADP-dependent dehydrogenase in bean and spinach leaf. *Plant Physiol.*, 94, 1492–1495. <https://doi.org/10.1104/pp.94.3.1492>
 12. Matamoros, M. A., Dalton, D. A., Ramos, J., Clemente, M. R., Rubio, M. C., & Becana, M. (2003). Biochemistry and molecular biology of antioxidants in the rhizobia-legume symbiosis. *Plant Physiol.*, 133, 499–509. <https://doi.org/10.1104/pp.103.025619>
 13. Matamoros, M. A., Loscos, J., Coronado, M. J., Ramos, J., Sato, S., Testillano, P. S., Tabata, S., & Becana, M. (2006). Biosynthesis of ascorbic acid in legume root nodules. *Plant Physiol.*, 141, 1068–1077. <https://doi.org/10.1104/pp.106.081463>
 14. Morell, S., Follmann, H., DeTullio, M., & Haberleim, I. (1997). Dehydroascorbate and dehydroascorbatereductase are phantom

- indicators of oxidative stress in plants. *FEBS Lett.*, 414 (3), 567–570. [https://doi.org/10.1016/S0014-5793\(97\)01074-0](https://doi.org/10.1016/S0014-5793(97)01074-0)
15. Motoki, T., Yabuta, Y., Mieda, T., Rapolu, M., Nakamura, A., Maruta, T., Yoshimura, K., Ishikawa, T., & Shigeoka, S. (2007). Light regulation of ascorbate biosynthesis is dependent on the photosynthetic electron transport chain but independent of sugars in *Arabidopsis*. *J. Exp. Bot.*, 58 (10), 2661–71. <https://doi.org/10.1093/jxb/erm124>
 16. Mozafar, A., & Oertli, J.J. (1993). Vitamin C (ascorbic acid): uptake and metabolism by soybean. *Plant Physiol.*, 141, 316–321. [https://doi.org/10.1016/S0176-1617\(11\)81741-4](https://doi.org/10.1016/S0176-1617(11)81741-4)
 17. Nito, K., Yamaguchi, K., Kondo, M., Hayashi, M., & Nishimura, M. (2001). Pumpkin peroxisomal membranes and unknown membranous structures. *Plant & Cell Physiology*, 42 (1), 20–27. <https://doi.org/10.1093/pcp/pce003>
 18. Ostergaard, J., Persiau, G., Davey, M.W., Bauw, G., & Van Montagu, M. (1997). Isolation of a cDNA coding for L-galactonog-lactone dehydrogenase: an enzyme involved in the biosynthesis of ascorbic acid in plants. *J. Biol. Chem.*, 272, 30009–30016. <https://doi.org/10.1074/jbc.272.48.30009>
 19. Pallanca, J.E., & Smirnoff, N. (2000). The control of ascorbic acid synthesis and turnover in pea seedlings. *J. of Exper. Botany*, 51 (345), 669–674. <https://doi.org/10.1093/jexbot/51.345.669>
 20. Pignocchi, C., Kiddle, G., Hernández, I., Foster, S.J., Asensi, A., Taybi, T., & Foyer, C.H. (2007). Ascorbate oxidase-dependent changes in the redox state of the apoplast modulate gene transcript accumulation leading to modified hormone signaling and orchestration of defense processes in tobacco. *Plant Physiol.*, 141, 423–435. <https://doi.org/10.1104/pp.106.078469>
 21. Saito, K., & Loewus, F. (1992). Conversion of D-glucosone to oxalic acid and L-(+)-tartaric acid in detached leaves of *Pelargonium*. *Phytochemistry*, 31, 3341–3344. [https://doi.org/10.1016/0031-9422\(92\)83681-N](https://doi.org/10.1016/0031-9422(92)83681-N)
 22. Saito, K., Nick, J.A., & Loewus, F.A. (1990). D-Glucosone and L-sorbosone, putative intermediates of L-ascorbic acid biosynthesis in detached bean and spinach leaves. *Plant Physiol.*, 94, 1496–1500. <https://doi.org/10.1104/pp.94.3.1496>

23. Smirnoff, N. (2003). Ascorbic acid: metabolism and function of a multifaceted molecule. *Current Opinion in Biotechnology*, 3, 229–235. [https://doi.org/10.1016/S1369-5266\(00\)80070-9](https://doi.org/10.1016/S1369-5266(00)80070-9)
24. Tommasi, F., Paciolla, C., de Pinto, M. C., & De Gara, L. (2001). A comparative study of glutathione and ascorbate metabolism during germination of *Pinus pinea* L. seeds. *J. of Exper. Botany*, 52(361), 1647–1654. <https://doi.org/10.1093/jexbot/52.361.1647>

ASCORBIC ACID IN PLANTS: METABOLISM AND FUNCTIONS

T. A. Artiushenko

Kryvyi Rih Botanical Garden of the NAS of Ukraine, Kryvyi Rih, Ukraine

Abstract. Ascorbic acid (vitamin C) is the most common water-soluble antioxidant in plants. Several possible pathways of vitamin C biosynthesis in plants in contrast to the only pathway of biosynthesis in animals have been described. With the exception of the last stage, which takes place on the inner mitochondrial membrane, ascorbate biosynthesis in plants occurs in the cytosol. The literature data on the content of ascorbic acid in the tissues and organs of various agricultural, cultivated and wild plants and the factors influencing it are summarized. The peculiarities of ascorbic acid metabolism, the ratio of ascorbatereduced and oxidized forms at different physiological states and the ways of vitamin C degradation in plants are analyzed.

The main functions of ascorbic acid in plant organisms are considered. Including evidence of its participation as a cofactor in the synthesis of hydroxyproline-richproteins of cell wall, its role in controlling cell division and growth by elongation, protection against reactive oxygen species and oxidative stress, photooxidation and regeneration of secondary antioxidants such as α -tocopherol as well as functioning as a coenzyme in various physiological and biochemical processes in plants.

However, the functions of this vitaminand the pathways of its biosynthesis still need to be clarified. The content of ascorbic acid in plants is determined by many processes that occur simultaneously, and the regulation of its accumulation requires their coordinated work. This occurs not only during the normal functioning of plants, but also under stressful conditions, which are usually accompanied by increased biosynthesis and the use of ascorbate.

At the same time, for a comprehensive assessment of the role of ascorbic acid in plant metabolism, it is necessary to simultaneously study the entire ascorbate system, including dehydroascorbic, 2,3-diketogulonic acid, which is formed during irreversible transformation due to rupture of the lactone ring the above compounds. Such approaches to vitamin C research are promising. Knowledge of the regulatory mechanisms of metabolic processes in general, and in particular the regulation of biosynthesis of physiologically active compounds, such as ascorbic acid, is relevant for plant physiology in connection with the prospect of biotechnological use of plant objects to obtain important metabolites.

Key words: ascorbic acid, dehydroascorbic acid, 2,3-diketogulonic acid, antioxidants, biosynthesis, degradation, enzymes, oxidativestress.

Citation as:

- APA** Artushenko, T. A. (2021). Askorbinova kyslota u roslyn: metabolizm ta funktsii [Ascorbic acid in plants: metabolism and functions]. *Ekolohichnyi visnyk Kryvorizhzhia [Ecological Bulletin of Kryvyi Rih District]*, 6, 13-32. <https://doi.org/10.31812/eco-bulletin-krd.v6i0>.
- ДСТУ 8302:2015** Аргюшенко Т. А. Аскорбінова кислота в рослин: метаболізм і функції. *Екологічний Вісник Криворіжжя*. 2021. Вип. 6. С. 13–32.

ОСНОВИ ЕКОЛОГІЧНОГО ТЕРМІНОЗНАВСТВА: ПЕРЕДУМОВИ, АКТУАЛЬНІСТЬ, ІМПЛЕМЕНТАЦІЯ

Я. В. Маленко*

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

Анотація. Інтеграція України у світовий освітній простір, поряд зі збереженням позитивних та ефективних надбань і традицій національної моделі освіти, спрямована на створення нових можливостей для формування власної життєвої траєкторії, формули успіху кожної особистості, здатної до самоосвіти, самоусвідомлення, самовизначення, самореалізації, саморозвитку. У наш час знання й освіта стають не тільки чинниками суспільного розвитку, а і його фундаментом та найціннішим засобом, каталізаторами формування сучасної національної еліти. Явища і тенденції теперішнього розвитку людства обумовлюють актуальність досліджень, метою яких є обґрунтування й аналіз передумов, актуальності, імплементації навчальної дисципліни «Основи екологічного термінознавства» в систему підготовки фахівців-екологів на основі окреслення сутності, значення, проблематики термінологічної компетентності як складової професіоналізму й екологічної культури національної еліти.

Національна еліта визначає інтелектуальний, морально-етичний, політичний, економічний клімат суспільства та є найціннішим його капіталом і пріоритетним ресурсом. Визначальна роль у її підготовці належить освіті, що здатна формувати такі особистісні якості, які сприяють підтримці сталого суспільства та сповненню його розвитку інноваційними елементами.

Невід'ємною складовою професійної компетентності, професіоналізму є термінологічна компетентність, що також може розглядатися як самостійна, або як структурний компонент інформаційної, комунікативної, мовленнєвої, культурної. Вивчення її сутності, специфіки, характеристик, рівнів сформованості й аналіз спряжених понять «термінологія», «терміносистема», «термін» дозволяють визначити сучасні проблеми термінологічної компетентності в галузі екологічної науки, пов'язані з рівнем термінологічного потенціалу особистості, екологічною культурою, негативними аспектами сучасного процесу термінотворення, проблемами розвитку екологічної терміносистеми. Формування термінологічної компетентності еколога — систематична, оптимально організована, цілеспрямована, забезпечена використанням ефективних засобів і методів навчання та конкретизована його специфічними принципами робота, орієнтована на досягнення основних завдань та цілей освіти, підвищення рівня екологічної культури й укріплення професійної еліти, задоволення запитів сучасного суспільства, успішну реалізацію інноваційної діяльності та імплементацію екологічних імперативів у розвиток країни.

Складовою реалізації завдань і вирішення проблем формування термінологічної компетентності майбутніх висококваліфікованих

конкурентоспроможних фахівців-екологів можна вважати впровадження в освітні програми закладів вищої освіти навчальної дисципліни «Основи екологічного термінознавства», ракурс якої спрямований на висвітлення основних етапів розвитку термінознавства, розуміння історичних витоків і традицій розвитку екологічного термінознавства, виявлення аспектів термінотворення і терміновжитку, вивчення питань динаміки термінів і ролі останніх у професійному пізнанні, науковій, експертній, виробничій, управлінській, інноваційній діяльності еколога.

Ключові слова: екологія, еліта, компетентність, термін, термінологія, терміносистема, основи екологічного термінознавства.

Вступ. Сучасний етап розвитку людства відзначається поєднанням фундаментальних змін у соціально-економічних відносинах з ускладненням суспільно-політичної організації діяльності соціумів, найвиразнішими серед яких є явища глобалізації, демократизації, децентралізації, сцієнтизму, прагматизму, цифрової трансформації (діджиталізації), що є наслідками демографічного, енергетичного, екологічного, інформаційного й багатьох інших «вибухів». Квінтесенцією пошуку соціальної, економічної та науково-технічної платформи виживання людства, нової парадигми підготовки людини до життя у ХХІ ст. є визнання потреби «всепроникного» характеру освіти (навчання впродовж життя), безпосередньої зацікавленості освітнім процесом кожної країни, міжнародної інтеграції освітніх систем із синхронізацією процесу на рівні наднаціональних інститутів.

Інтеграція України у світовий освітній простір, поряд зі збереженням позитивних та ефективних надбань і традицій національної моделі освіти, спрямована на створення нових можливостей для формування власної життєвої траєкторії, формули успіху кожної особистості, здатної до самоосвіти, самоусвідомлення, самовизначення, самореалізації, саморозвитку. Модернізація української освіти, як відповідь на виклик цивілізації, є показником здатності гнучко реагувати на перманентно змінювані зовнішні та внутрішні чинники, умови, запити. Знання й освіта стають не тільки чинниками суспільного розвитку, а і його фундаментом та найціннішим засобом, катализаторами формування сучасної національної еліти.

Реалії сьогодення диктують певні вимоги до підготовки фахівця, як особистості, за якою не тільки сталий розвиток країни й успіхи науки, а й національне світосприйняття. Стандарти четвертого (сучасного) покоління вищої екологічної освіти є нормативними орієнтирами освітнього процесу, що відкривають значні можливості для закладів освіти. Їх гнучкість дозволяє зберігати наявні методичні напрацювання

та сприяє оновленню змісту вищої освіти і реалізації в процесі освітньої діяльності актуальних і нагальних проблем.

Мета — обґрунтування й аналіз передумов, актуальності, імплементації навчальної дисципліни «Основи екологічного термінознавства» в систему підготовки фахівців-екологів на основі окреслення сутності, значення, проблематики термінологічної компетентності як складової професіоналізму й екологічної культури національної еліти.

Матеріали та методи. Методологічною основою досліджень є використання системного, елементно-структурного й аналітичного підходів із застосуванням загальноприйнятих загальнонаукових і спеціальних методів.

Результати та обговорення. Рівень цивілізованості країни, її прогресивний, сталий розвиток, якість життя населення багато в чому залежить від сформованості національної еліти — частини нації, яка бере на себе роль лідера, керівника, провідника та ініціатора творення нації, держави, модернізації суспільства. Національна еліта — суспільні верстви розумних людей, професіоналів у певній галузі, поведінка яких завжди морально мотивована, а метою життя, за І. Кантом [14], є «власне удосконалення та чуже щастя». Вона визначає інтелектуальний, морально-етичний, політичний, економічний клімат суспільства та є найціннішим його капіталом і пріоритетним ресурсом. На думку В.І. Шанди [26], ідеї формування еліти всіх сфер життя мають: 1) усе глибше проникати в масову свідомість українського народу; 2) закріпитися у стратегіях діяльності всіх владних структур; 3) бути глибоко опрацьованими у теорії освіти та психодіагностики. Інтелігенція є основним суб'єктом соціально-захисної діяльності суспільства, формує та реалізує гуманістичну концепцію розвитку держави, духовну, інтелектуальну, культуротворчу активність суспільства, ідеологічно забезпечує, через свої елітарні підструктури, державотворення в цілому.

Визначальна роль у формуванні національної еліти з високим інтелектуальним потенціалом належить освіті. Саме освіта своїми впливом, нормами, моделями та підходами до різних видів діяльності здатна розвивати ті задатки, якими природа обдарувала людину, формувати такі особистісні якості, що будуть сприяти підтримці сталого суспільства та сповненню його розвитку інноваційними елементами.

Потреба розв'язання проблем творчого розвитку особистості, підсилення національної інтелектуальної еліти, творчого потенціалу суспільства загалом на фоні сучасних тенденцій розвитку світової

цивілізації стала передумовою зміни парадигм освіти, її реформуванню шляхом відмови від знаннєвого підходу та впровадження компетентнісного. Основними категоріями компетентнісного підходу є «компетенція» та «компетентність» у складній, неоднозначній, полемічній інтерпретації їхнього співвідношення одна до одної. Дискусійний характер питання обумовив розмаїття трактувань семантичного поля цих понять на основі чисельних поглядів і підходів дослідників, викладених у великій кількості наукових праць вітчизняних і зарубіжних учених (Дж. Равен, М. Армстронг, А. Л. Андрєєв, Б. Блум, І. Д. Бех, Ю. В. Варданян, Ж. Делор, Л. М. Гогіна, М. С. Головань, О. І. Гулай, О. С. Заблоцька, І. О. Зимня, Т. І. Краснова, О. Я. Лазар, Т. Є. Недашківська, Р. Пастушенко, О. І. Пометун, М. Рудь, Ю. А. Тихомиров, А. В. Хуторський та ін.). Квінтесенцією сучасної наукової думки щодо основних категорій компетентнісного підходу є трактування їх сутності, змісту, структури і складових у редакції Державного стандарту базової і повної середньої освіти [8], Державного стандарту базової і повної середньої освіти, затвердженого постановою Кабінету Міністрів України № 898 від 30 вересня 2020 року [9], Закону України «Про освіту» [12], Закону України «Про повну загальну середню освіту» [13].

Компетентність — набута у процесі навчання інтегрована здатність чи якість особистості, що складається зі знань, умінь, досвіду, цінностей і ставлення, що можуть цілісно реалізовуватися на практиці. Компетенція — суспільно визнаний рівень знань, умінь, навичок, ставлень у певній сфері діяльності людини [6, 8]. Отже, компетенція — це мета освітньої діяльності, а компетентність — міра, ступінь, повнота її досягнення конкретним суб'єктом освітньої діяльності. У вузькому розумінні можна розглядати компетентність як діяльнісну характеристику, міру інтегрованості людини в діяльність, що передбачає певну світоглядну спрямованість особистості та її цілісне ставлення до професійної та повсякденної діяльності. У широкому сенсі, як системне поняття, її трактують як ступінь соціальної та психологічної зрілості людини, що передбачає певний рівень психічного розвитку особистості, психологічну готовність до певного виду діяльності, яка дозволяє індивіду успішно інтегруватися в суспільство, реалізовуватися та функціонувати в ньому.

Існує багато підходів до типології компетентностей. Залежно від обрання критерію класифікації виділяють: діяльнісна основа (когнітивна, афективна, вольова, досвід); форма прояву компетентності (свідома, несвідома); обсяг чи ємність компетентності (предметна,

спеціальна, загальна); функції компетентності (пізнавальна, випробувальна, регуляторна, рефлексивна, оціночна, контролююча); рівень універсальності (психосоціальні, ключові, компетентності за видами множинного інтелекту, компетентності за видами професійної діяльності); ієрархічна відповідність рівням і змісту освіти (ключові, загальнопредметні, предметні) тощо.

Професійна компетентність особистості — інтеграція певного рівня сформованості професійних знань, практичних умінь, професійно-значущих особистісних якостей у діяльності конкретної людини, що забезпечує стабільно високу результативність, ефективну організацію особистої та колективної праці, високий рівень відповідальності за власно прийняті рішення. Це результат синтезу ґрунтовної базової підготовки фахівця, постійного підвищення професійного рівня, що свідчить про готовність людини ефективно і творчо виконувати свої фахові та посадові обов'язки.

Професійна компетентність особистості — невід'ємна складова професіоналізму. Сутнісне значення в її структурі, поряд з діяльнісною, інформаційною, методичною, особистісною, комунікативною, має термінологічна (професійно-термінологічна).

Термінологічна компетентність може розглядатися як самостійна, або як невід'ємна, обов'язкова складова професійної, предметної компетентності, чи як структурний компонент інформаційної, комунікативної, мовленнєвої, культурної. Її розуміють як здатність і готовність спеціаліста грамотно застосовувати термінологію для рішення професійних завдань, водночас використовуючи мінімальний об'єм особистісних матеріальних, часових та інших ресурсів [2].

Дослідженню термінологічної компетентності присвячені праці М. Бахтіна, Г. Бондаренко, Н. В. Бордовської, Н. С. Бородної, М. Борисової, Т. Бутенко, Л. В. Вікторової, І. В. Власюк, О. Е. Гридзук, А. Дьоміна, Ж. Є. Єрмолаєвої, Є. П. Копіци, Е. О. Кошкиної, Е. Огар, О. С. Петриної, В. Приходько, Л. О. Симоненко, Г. Ф. Ракшанової та ін. Як поліструктурне явище, термінологічна компетентність включає, на думку Н. В. Бордовської, О. А. Кошкиної [2], В. В. Перерви [22], різні компоненти: I. Предметно-пізнавальний компонент, що виконує когнітивну функцію і є сукупністю знань, зафіксованих у понятійно-термінологічній формі, яка необхідна для розуміння вимог відповідної галузі професійної діяльності, аргументованого пояснення вибору способів рішення типових для неї завдань і грамотного пояснення якості отриманих результатів; II. Інтелектуально-рефлексивний компонент, що виконує прагматичну функцію і є практичним досвідом

оперування термінами в типових і нетипових професійних ситуаціях, зокрема й у процесі пошуку нових термінів і їх обґрунтованого, адекватного застосування; III. Комунікативно-мовний компонент, що виконує комунікативну функцію, є досвідом грамотного та доречного оперування термінами у професійній комунікації засобами усної та письмової мови, в умінні пояснювати специфіку та значення терміну іншим учасникам комунікації. І. В. Власюк [5] виділяє у структурі термінологічної компетентності наступні компоненти: професійно-діяльнісний, когнітивно-пізнавальний, комунікативно-особистісний, професійно-креативний, мотиваційний, вольовий.

Термінологічній компетентності властиві такі характеристики: I. Варіативність прояву, що реалізується у двох аспектах: 1) інтегральній характеристиці особистості, яка формується у процесі освоєння та застосування понятійно-термінологічного апарата конкретної науки або галузі людської діяльності; 2) ситуативній характеристиці особистості, що виявляється в системі роботи з термінами в межах певного понятійно-термінологічного поля; II. Інтегративність, яка виявляється в тому, що термінологічна компетентність, так або інакше, наявна, як компонент, в інших компетентностях і забезпечує їхню реалізацію у професійній, комунікаційній, творчій, соціальній та інших видах діяльності сучасної людини; III. Зв'язок з термінологічним потенціалом особистості, що, на думку Ж. Є. Єрмолаєвої, І. М. Герасимової [11, с. 86], виявляється «у стійкому прагненні особистості зробити свій внесок у покращення функціонування понятійно-термінологічного апарату предметної галузі, дисципліни, керуючись при цьому суспільним інтересом»; IV. Безпосередня висока залежність від освіти, що обумовлена становленням термінологічної компетентності через освіту та самоосвіту.

Термінологія, як інструмент організації та репрезентації спеціальних знань у відповідній науково-професійній галузі, виконує різні функції на різних етапах становлення особистості. Під час професійної підготовки вона виступає джерелом отримання об'єктивних наукових знань та інструментом набуття професійного досвіду, а в період професійної діяльності — засобом професійної комунікації і теоретичним підґрунтям професійного зростання фахівця шляхом її систематичного поповнення й осучаснення. Впевнене володіння термінологією відповідної галузі знань традиційно вважається показником якості засвоєння навчального матеріалу в межах освітнього процесу, а активне, доцільне її застосування під час спілкування в колі професіоналів формує

репутацію науковця, сприяє взаєморозумінню, взаємоповазі, співпраці у процесі обміну досвідом.

У множині термінів кожної галузі вирізняють дві складові частини: Термінологія — сукупність термінів з усіх галузей знання чи певних галузей, або одна з форм професійного соціолекту; Терміносистема — опрацьована фахівцями певної галузі та лінгвістами підмножина термінів, яка адекватно й однозначно відображає систему понять цієї галузі. М. К. Борисова [3] зазначає, що «термінологія» — це сукупність лексичних одиниць, що склалися стихійно, водночас як «терміносистема» — ієрархічна система термінів, упорядкована термінознавцями. Тобто «термінологія» — сукупність термінів певних галузей знання, що склалися природно та відображає впорядковуючу діяльність людини в межах процесу номінації, а «терміносистема» — упорядкована термінологія з фіксованим відношенням між термінами, що відбиває класифікаційну діяльність людини, спрямовану на сортування та квантифікацію відносин між термінами через поняття, що їх визначають [16, 17, 23]. Термінологія — особливий пласт лексики, джерело терміносистем. Типовими ознаками кожної терміносистеми є: цілісність, відповідність суми складових цілому; сталість (для певного етапу розвитку наукового знання); дискретність; структурованість.

Термін (лат. *Terminus* — божество меж, кордонів у римській міфології; *terminus* — кордон, межа, край, кінець) — це одиниця історично сформованої термінологічної системи, що визначає поняття та його місце в системі інших понять, виражається словом або словосполученням, служить для спілкування людей, пов'язаних єдністю спеціалізації, належить до словникового складу мови та підпорядковується її законам [18]. Термін — це слово або усталене словосполучення, що чітко й однозначно позначає наукове чи спеціальне поняття. На теперішній час у науці існує понад 20 визначень поняття «термін». Термін не називає поняття, як звичайне слово, а навпаки, поняття приписується терміну, додається до нього. Така різниця визначає конверсійність терміна, яка полягає в тому, що вчені чи фахівці тієї або тієї галузі домовляються як розуміти і яке поняття вкладати в певний термін. Термін належить одночасно до двох систем: логіко-понятійної системи певної галузі наукового знання; лексичної системи загальнолітературної мови. Термін розкриває зміст конкретного поняття через його дефініції — лаконічні, логічні визначення, що зазначають суттєві ознаки предмета або значення поняття, тобто межі та зміст останнього.

Ознаками термінів є: 1) системність (належність та функціонування в межах термінології чи термосистеми певної предметної сфери); 2) наявність дефініцій (визначення); 3) моносемічність (однозначність) терміна в межах однієї предметної галузі, дисципліни або сфери професійної діяльності; 4) стилістична нейтральність; 5) відсутність експресії, образності, суб'єктивно-оціночних відтінків; 6) стислість; 7) відповідність вимогам евфонії (милозвучність); 8) мотивованість застосування. Терміни класифікують на підставі багатьох критеріїв, найчастіше з яких використовують наступні: Структура терміна: однослівні (адаптація, sukcesія, флуктуація, життєвість, мозаїчність), терміни словосполучення (рослинне угруповання, життєва форма, екологічний спектр); Частиномовна належність: терміни-іменники (екоморфа, консорція, синузія, ценоз, едифікатор), терміни-прикметники (рослинний, екологічний, толерантний, еколого-таксономічний), рідко терміни-прислівники; Використання: загальноживані терміни, вузькоспеціальні, вживані у якійсь одній галузі; Спосіб творення: терміни-інтернаціоналізму створені шляхом прямого запозичення та використання у мові, терміни, створені калькуванням, тобто прямим перекладом, деколи навіть без урахування граматики певної мови, народні терміни тощо. Основними вимогами до терміну є: змістовність — точна відповідність слова поняттю, прозора внутрішня форма; гнучкість (пластичність) — здатність до творення похідних термінів; мовна досконалість — милозвучність, легкість для запам'ятовування; відповідність міжнародним нормам й узгодженість із правилами та нормами певної мови..

Інтенсивний розвиток науки, зокрема, екології, її зростаюча диференціація та виразна тенденція інтеграції, сприяє розширенню меж екологічної науки за рахунок експансії на нові предметні поля, збагаченню терміносистеми. Водночас, на жаль, досить часто сутність термінів спотворюється, не відповідає дефініції. Сьогодні білборди, лайтбокси, сторінки різних видань, публікації Інтернет мереж, передвиборчі програми представників владної еліти, численні види реклами рясніють незрозумілими словесними «винаходами», як-от: «погана екологія», «чиста екологія», «добра екологія», «критична екологія», «жахлива екологія», «погіршення екології міста», «покращимо екологію» тощо. Деякі автори пишуть про «екологію душі», «екологію здоров'я», «екологію думки», «екологію повітря», «інтелектуальну екологію», «політичну екологію», «екологічний рік», «екологічний ринок», «екологічне взуття», «екологічний одяг», «оптимізацію екології промисловості», «чисте навколишнє

середовище» [17], «соціологію глобальних екологічних процесів» [21], «насилля екології» [19]. Подібна нісенітниця виникає внаслідок відсутності елементарних уявлень про сутність екології, розуміння об'єкта і предмета досліджень цієї науки.

Наслідком словоутворюючого калькування, омонімічності є поява в екології таких термінів, як: «флюктууюча асиметрія» [24], «інвайронментальна біогеохімія фітоценозів», «пробні площадки», «рослині співтовариства», «зустрічальність видів рослин» тощо. Щодо першого з наведених термінів слід зазначити, що термін «флюктуація» («флюктуація») достатньо широко використовується в науці, має процесуальне підґрунття і тлумачиться як: 1) будь-які коливання, хвилювання або будь-які періодичні зміни; 2) незначні варіювання форми, структури; 3) випадкове відхилення якоїсь величини від її середнього значення тощо. Термін активно застосовується в екології з 1939 р. завдяки працям американського вченого Генрі Глізона і трактується як неспрямовані, неекторизовані, циклічні, різнорічні зміни угруповань, які завершуються поверненням до стану близького вихідному. Автором терміна «флюктууюча асиметрія» був американський біолог-еволюціоніст, розробник гіпотези Червоної Королеви, закону вимирання Ли Ван Вален [4]. У 1962 р. учений опублікував працю, у якій виклав класифікацію асиметрії з виділенням таких її видів: спрямована асиметрія; антисиметрія; флюктууюча асиметрія. Останню він розумів як незначні відхилення морфологічних структур від ідеальної білатеральної симетрії в межах певного діапазону еволюційних пристосувань, як наслідок зменшення здатності розвитку шляхом, закладеним на генетичному (спадковість) рівні. Флюктууюча асиметрія — плаваюча, коливна, хитка, мінлива, випадкова, генетично не детермінована — відбиває незначні відмінності, недосконалість симетрії й асиметрії організмів, є показником внутрішньоіндивідуальної різноманітності, що визначає особливості реалізації спадкової інформації в індивідуальному розвитку організму, пошуку шляхів адаптивного морфогенезу. Бум інтересу до «ФА» спостерігався за кордоном у 1990-х роках, а у вітчизняній науці — у першому десятиріччі ХХ ст. Унаслідок прямого запозичення терміну з іншої мови, ажіотаж супроводжувався виникненням численних інтерпретацій його звучання, застосуванням не завжди надійних, коректних, статистично доведених алгоритмів і методик дослідження випадкової фенотипічної мінливості парних ознак білатеральних організмів, а отже, й отриманням недостовірних результатів і формулюванням неоднозначних узагальнень щодо оцінки стану стабільності розвитку

живих об'єктів територій різного ступеня антропої, техногенної трансформації.

У певних випадках необґрунтоване застосування одиниць терміносистем суміжних наук, неправильно орієнтованих термінів, транстермінологізація (функціональна та семантична), міжмовна інтерференція призводять до спотворення сутності конкретних екологічних явищ і процесів, втрати аксеологічності знання, дезінформації та фабрикації, що негативно впливає на оцінку результативності наукових досліджень, утруднює професійно-орієнтовну комунікацію. Таким прикладом може бути вживання деякими авторами [1, 25] словосполучення «деастовані землі» для характеристики техногенних гірничопромислових ландшафтів відкритого типу, що утворюються внаслідок складування гірських порід і відходів переробки та збагачення корисних копалин у Криворізькому промисловому регіоні, або побудови «геологічна зумовленість поширення дерев» на відвалах для опису загальноновизнаного впливу геоморфологічних і геохімічних факторів на формування рослинності техногенних екотопів, або словосполучення «промислові ділянки», замість «промислові майданчики», для характеристики особливостей складу рослинних угруповань земельних ділянок, що належать промисловому виробництву й об'єкта провадження господарської діяльності й оформлені у встановленому порядку.

Стурбованість і нарікання щодо зростання «вражаючої поліфонії словесних винаходів» [20], «розширеного тлумачення терміна «екологія» [10, 28], «тиражування дивовижних термінів» [7], притаманності «суб'єктивізму, антропоморфізму термінів, непослідовності, недостатньої компетентності та професійної глухоти» [27] у формуванні, тлумаченні та використанні екологічних термінів періодично висловлюються провідними вченими-екологами. На жаль, вони залишаються не завжди взятими до уваги та цілевизначальними у фаховій діяльності, незважаючи на слушність зауважень, очевидність, логічність і доведеність результативно-цільової спрямованості (грамотність — освіченість — компетентність — культура — менталітет), наявну, апіорі та апостеріорі, аксеологічність.

Формування термінологічної компетентності — це систематична, оптимально організована, цілеспрямована робота, забезпечена використанням ефективних засобів навчання та конкретизована його специфічними принципами (науковості, міждисциплінарності, креативності, індивідуалізації, наочності, доступності, комунікативної спрямованості, зв'язку з життям), орієнтована на досягнення основних

завдань і мети освіти, укріплення національної інтелектуальної еліти, задоволення запитів сучасного суспільства, держави, світової цивілізації.

Перспективним і доцільним є внесення до переліку компонентів освітньо-професійних програм підготовки фахівців-екологів першого (бакалаврського) рівня вищої освіти навчальної дисципліни «Основи екологічного термінознавства», ракурс якої спрямований на висвітлення природи терміна, терміносистеми, термінологічного поля, аналіз процесів термінотворення і терміновживання, вивчення питань динаміки терміна та ролі останнього у професійному пізнанні, науковій, експертній, виробничій, управлінській, інноваційній діяльності еколога. Ця дисципліна може входити до переліку компонентів варіативної частини циклу (на вибір) професійної підготовки здобувачів вищої освіти за спеціальністю 101 Екологія.

Навчальна дисципліна «Основи екологічного термінознавства» пов'язана й органічно доповнює та поглиблює знання здобувачів, отримані під час вивчення дисциплін циклу загальної підготовки «Українська мова за професійним спрямуванням», «Основи академічного письма». Її зміст може включати висвітлення різноманітних аспектів термінознавства як науки, специфіки екологічного термінознавства, термінів як одиниць терміносистеми, структурно-семантичних особливостей, підходів і критеріїв типології, способів творення, перекладу, транслітерації екологічних термінів, мовленнєвої специфіки наукового стилю в екології тощо. Правильна не тільки українська літературна, а й професійна мова є ознакою освіченості людини, відображенням внутрішньої мотивації особистості до якісного виконання професійних завдань та усвідомлення наукових і професійних цінностей, показником здатності ефективно застосовувати наявні знання екологічної науки для реалізації природоохоронних, інспекторських, виконавських, консультативних і комунікативних виробничих функцій, прийняття управлінських рішень, здійснення науково-дослідницької діяльності, імплементації екологічних імперативів у розвиток суспільства.

Ефективними методами формування та розвитку термінологічної компетентності є різноманітні тести, завдання та вправи, як-от: визначення належності термінів до певної терміносистеми, галузі науки; формулювання дефініцій (значення, сенсу) екологічних термінів; встановлення відповідності термінів і їх дефініцій; синонімічно-антонімічний аналіз і добір термінів; вибір термінів для вирішення конкретного професійного завдання; пояснення значення термінів-

паронімів; побудова понятійних (ментальних) карт; кейс-завдання з потребою добору терміна, що відповідає змісту проблеми, наукового чи професійного тексту; складання термінологічних словників за визначеною темою досліджень; складання глосарію за науковим текстом, публікацією; складання та розв'язування різноманітних термінологічних кросвордів за заданими дефініціями; складання мікро-, макродіалогів; складання багатокомпонентних термінологічних ланцюжків, кожен компонент яких конкретизує, увиразнює утворений термін; складання тематичних наукових есе; експертна оцінка та самооцінка ступеня володіння термінологією тощо. Формування професійної культури мовлення, термінологічної компетентності мають керуватися принципами науковості, функціонально-комунікативної спрямованості, проблемності, тісних міждисциплінарних і міжпредметних зв'язків.

Висновки. Мова у науці не випадковий інгредієнт, а структурний елемент наукового знання, вербалізація інтелектуальної діяльності дослідника, вияв людської думки, національної за своїми витокami та інтернаціональної за призначенням, невід'ємний атрибут існування та розвитку науки як феномена суспільного життя.

Засвоєння термінів, термінології, опанування терміносистемами, вміння вільно та влучно оперувати ними під час виконання різноманітної діяльності є показником термінологічної компетентності, фахової ерудиції, вихідним і невід'ємним етапом здобуття професійної компетентності, базовим, інтелектуальним елементом професіоналізму. Підготовка висококваліфікованого фахівця, особистості, інтелектуальної професійної галузевої еліти, за якою не тільки майбутнє економічне зростання нашої країни та розвиток науки, а й національне світосприйняття, — стратегічне завдання сучасної вищої освіти.

Складовою реалізації завдань і вирішення проблем формування термінологічної компетентності майбутніх висококваліфікованих конкурентоспроможних фахівців-екологів можна вважати впровадження в освітні програми закладів вищої освіти навчальної дисципліни «Основи екологічного термінознавства», ракурс якої спрямований на висвітлення основних етапів розвитку термінознавства, розуміння історичних витоків і традицій розвитку екологічного термінознавства, виявлення аспектів термінотворення і терміновжитку, вивчення питань динаміки термінів і ролі останніх у професійному пізнанні, науковій, експертній, виробничій, управлінській, інноваційній діяльності еколога.

Актуальними та перспективними проблемами аналізу термінологічної компетентності є дослідження факторів, умов і засобів, що визначають особливості її формування та розвитку на різних етапах предметної, фахової підготовки та подальшої професійної діяльності.

Високий рівень інтелектуального, професійного та морального рівня національної еліти, поряд із державним мисленням і національною самосвідомістю, — єдиний шлях до прогресу, успіху державотворчого процесу, консолідації суспільства задля втілення багатогранної самореалізації нації.

References

1. Bielyk, Yu. V., Savosko, V. M., Lykholat, Yu. V., Hielmeire, H., & Grygoryuk, I. P. (2020). Macronutrients and heavy metals contents in the leaves of trees from the devastated lands at Kryvui Rih district (Central Ukraine). *Ekolohichnyi visnyk Kryvorizhzhia [Ecological Bulletin of Kryvyi Rih District]*, 5, 81–99. <https://doi.org/10.31812/eco-bulletin-krd.v5i0.4355> (in Ukrainian).
2. Bordovskaya, N. V., & Koshkina, E. A. (2016). Strukturno-funktsionalnaya model terminologicheskoy kompetentnosti spetsialista [Structural and functional model of the terminological competence of a specialist]. *Vestnik Sankt-Peterburgskogo universiteta. Ser. 16. Psihologiya. Pedagogika [Bulletin of the St. Petersburg University. Ser. 16. Psychology. Pedagogues]*, 4, 97–109. <https://doi.org/10.21638/11701/spbu16.2016.408> (in Russian).
3. Borisova, M. K. (2015). Terminologiya i terminosistema: aspekty korrelyatsii [Terminology and thermosystems: correlation aspects]. *Universitetskie chteniya — 2015: sbornik materialov nauchno-metodicheskikh chteniy PGLU [University readings — 2015: Collection of materials of scientific and methodological readings PGLU]*. Pyatigorsk. https://pglu.ru/upload/inblock/d0d/ch_05_sim_1_sektsii_11_14-m.k.-borisova-28.hdf (in Russian).
4. Van Valen, L. (1962). A study of fluctuating asymmetry. *Evolution*, 16, 125–141.
5. Vlasiuk, I. V. (2015). Formuvannia profesiino-terminolohichnoi kompetentnosti maibutnikh bakalavriv ekonomiky v protsesi vyvchennia fakhovykh dystsyplin [Formantry of Professional Terminal Competence of Maite Cathedral Bacheloring Economy

- in the Vivchennya Process of the Famovy Disciplines] (Candidate's thesis. Theory and methodology of professional education). Vinnytsia State Pedagogical University. Vinnytsia. <http://93.183.203.244:8080/xmlui/handle/123456789/348> (in Ukrainian).
6. Holovan', M. S. (2008). Kompetentsiia i kompetentnist: dosvid teorii, teoriia dosvidu [Competence and competence: experience of theory, theory of experience]. *Vyshcha osvita Ukrainy [Higher Education of Ukraine]*, 3, 23–30. (in Ukrainian).
 7. Holubets, M. A. (1997). Vid biosfery do sotsiosfery [From the biosphere to the sociosphere]. Lviv: Polli. (in Ukrainian).
 8. Derzhavnyi standart bazovoi i povnoi zahalnoi serednoi osvity, zatverdzhenyi postanovoiu Kabinetu Ministriv Ukrainy vid 23 lystopada 2011 r. №1392 [State standard of basic and complete general secondary education, approved by the resolution of the Cabinet of Ministers of Ukraine of November 23, 2011. №1392]. (2011). <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1392-2011-%D0%BF#Text> (in Ukrainian).
 9. Derzhavnyi standart bazovoi serednoi osvity, zatverdzhenyi postanovoiu Kabinetu Ministriv Ukrainy vid 30 veresnia 2020 r. №898 [State standard of basic secondary education, approved by the resolution of the Cabinet of Ministers of Ukraine of September 30, 2020. №898]. (2020). <https://mon.gov.ua/ua/osvita/zagalna-serednya-osvita/derzhavni-standarti> (in Ukrainian).
 10. Didukh, Ya. P. (2003). V. I. Vernadskyi i suchasna ekolohiia [V. I. Vernadsky and modern ecology]. *Visnyk NAN Ukrainy [Bulletin of the NAS of Ukraine]*, 5, 53–59. (in Ukrainian).
 11. Ermolaeva, Zh. E., & Gerasimova, I. N. (2014). Sozdanie uchenogo tematicheskogo i terminologicheskogo slovarya po distsipline “Ekologiya” dlya kursantov/ studentov i slushateley [Creation of the scientific thematic and terminological dictionary on discipline “Ecology” for cadets / students and listeners]. *Teoreticheskie i metodologicheskie problemyi sovremennogo obrazovaniya: Materialyi 16 mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii [Theoretical and methodological problems of modern education: Proceedings of the 16th International Scientific and Practical Conference]*. Moscow. (in Russian).

12. Zakon Ukrainy “Pro osvitu” [Law of Ukraine “On Education”]. (2017). *Vidomosti Verkhovnoi Rady [Information of the Verkhovna Rada]*, 38–39, 380. <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2145-19> (in Ukrainian).
13. Zakon Ukrainy “Pro povnu zahalnu seredniu osvitu” [Law of Ukraine “On Complete General Secondary Education”]. (2020). *Vidomosti Verkhovnoi Rady [Information of the Verkhovna Rada]*, 48, 431. <https://zakon.rada.gov.ua/laws/main/index> (in Ukrainian).
14. Kant, I. (1966). *Sochineniya v shesti tomah [Essays in six volumes]*. (V. F. Asmus, A. W. Gulygi, T. I. Oiserman). Moscow: Thought. (in Russian).
15. Malenko, Ya. V. (2021). Terminolohichna kompetentnist ekolooha: deiaki aspekty problematyky [Terminological competence of environmentalist: some aspects of range of problems]. *Fundamental and applied research in the modern world. Abstracts of the 7th International scientific and practical conference*, 21–27. <https://sci-conf.com.ua/vii-mezhdunarodnaya-nauchno-prakticheskaya-konferenciya-fundamental-and-applied-research-in-the-modern-world-17-19-fevralya-2021-goda-boston-ssha-arhiv/> (in Ukrainian).
16. Manerko, L. A. (2009). Ponyatie “terminosistema” v sovremennom terminovedenii [The concept of “terminological system” in modern terminology]. *Sovremennyye tendentsii v leksikologii, terminologii i teorii DIZ (sbornik nauchnykh trudov) [Modern tendencies in lexicology, terminology and theory of DIZ (collection of scientific works)]*. Moscow: Publishing House of the Moskow State University. (in Russian).
17. Martinenko, T. S. (2020). Invayronmentalnoe neravenstvo: sovremennyye podhodyi k kontseptualizatsii ponyatiya [Environmental inequality: modern approaches to conceptualization of the concept]. *Visnik Tomskogo gosudarstvennogo universiteta. Filosifiya. Sotsiologiya. Polyitologiya [Tomsk State University Journal of Philosophy, Sociology and Political Science]*, 57, 200–214. <https://doi.org/10.17223/1998863X/57/19> (in Russian).
18. Melnichuk, O. S. (Ed.). (1977). *Slovyk inshomovnykh sliv [Dictionary of foreign words]*. Kyiv: Vyshcha shkola (in Ukrainian).
19. Merrill, Ch. (2020) Tco-Thoughts: An Interview with Chistopher Merrill [onlain] Avuilable from: <https://believermag.com/lagger/eco-thoughts-an-interview-with-christopher-merrill/> (Accessed: 25th February 2020).
20. Mytskyk, L. P. (2016). Terminolohichna nisha naukovooho poniattia ta yii dynamika (na prykladi ekolohichnykh ta botanichnykh poniat)

- [Terminological niche of the scientific concept and dynamics (on the example of ecological and biological concepts)]. *Ekolohiia i noosferolohiia [Ecology and noospherology]*, 27(3–4), 118–127. (in Ukrainian).
21. Novozhilova, E. O. (2008) Sotsiologiya globalnykh ekologicheskikh protsessov [Sociology of global ecological processes]. *Sotsiologicheskie issledovaniya [Sociological studies]*, 9(293), 59–67. (in Russian).
 22. Pererva, V. V. (2019). Matrychna model rivniv profesiino-terminolohichnoi kompetentnosti maibutnoho pedahoha [Matrix model of levels of professional-terminological competence of the future teacher]. *Naukovyi chasopys NPU imeni M. P. Drahomanova. Ser. 5. Pedagogichni nauky: realii ta perspektyvy [Scientific journal of NPU named after M. P. Dragomanova. Ser. 5. Pedagogical sciences: realities and prospects]*, 69, 170–175. <https://doi.org/10.31392/2311-5491/2019-69.40> (in Ukrainian).
 23. Petryna, O. S. (2018). Providni kharakterystyky terminolohii ta terminosystemy [Leading characteristics of terminology and terminology system]. *Nauka ta osvita novyi vymir. Filolohiia [Science and Education a New Dimension. Philology]*, VI (51), 62–64. <https://doi.org/10.31174/SEND-Ph2018-176V151-14> (in Ukrainian).
 24. Savosko, V. M., & Katalychenko, A. N. (2014) Fliukuiiucha asymetriia lystkiv berezy povysloi v umovakh aerotekhnogennoho zabrudnennia Kryvorizhzhia [Fluctuating asymmetry of birch leaves hanging in the conditions of aerotechnogenic pollution of Kryvyi Rih]. *Pytannia bioindykatsii ta ekolohii [Questions of bioindication and ecology]*, 19(2), 90–102. http://nbuv.gov.ua/UJRN/pbte2014_19_2_10 (in Ukrainian).
 25. Savosko, V., Lykholat, Yu., Domshyna, K., & Lykholat, T. (2018). Ekolohichna ta heolohichna zumovlenist poshyrennia derev i chaharnykyv na devastovanykh zemliakh Kryvorizhzhia [Ecological and geological determination of trees and shrubs' dispersal on the devastated lands at Kryvorizhha]. *Zhurnal heolohii, heohrafyy ta heoekolohyi [Journal of Geology, Geography and Geoecology]*, 27(1), 116–130. <https://doi.org/10.15421/111837> (in Ukrainian).
 26. Shanda, V. I., & Temchenko, V. M. (1996). Tvorcha osobystist vchytelia yak proiav ta opora formuvannia natsionalnoi elity Ukrainy [Creative personality of a teacher as a manifestation and support of the formation of the national elite of Ukraine]. *Natsionalna elita ta intelektualnyi*

potentsial Ukrainy, materialy mizhnarodnoi naukovoï konferentsii [National elite and intellectual potential of Ukraine, Proceedings of the international scientific conference]. Lviv. (in Ukrainian).

27. Shanda, V. I., Khlyzina, N. V., & Udod, S. H. (2002). Ekolohichni terminy: deiaki momenty vykorystannia [Environmental terms: some uses]. *Problemy ekolohii ta ekolohichnoi osvity, materialy mizhnarodnoi konferentsii [Problems of ecology and ecological education, Proceedings of the international conference]. Kryvyi Rih. (in Ukrainian).*
28. Shelyag-Sosonko, Yu. R., & Movchan, Yu. I. (1990). Retsenziya. Ogorodnik I. V. i drugie. Sotsialno-filosofskie problemy ekologii [Review. Ogorodnyk I. V. et al. Sociophilosophical problems of ecology]. *Ukr. botan. zhurnal. [Ukr. Botan. Journal], 47 (4), 146. (in Ukrainian).*

BASICS OF ECOLOGICAL TERMINOLOGY: PREREQUISITES, RELEVANCE, IMPLEMENTATION

Ya. V. Malenko

Kryvyi Rih State Pedagogical University, Kryvyi Rih, Ukraine

Abstract. Ukraine's integration into the world educational space, along with preserving the positive and effective achievements and traditions of the national model of education, aims to create new opportunities for forming their own life trajectory, the formulas for success of each individual capable of self-education, self-awareness, self-determination, self-realization and self-development. Nowadays, knowledge and education are becoming not only factors of social development, but also its foundation and the most valuable way, catalyst for the formation of modern national elite. Phenomena and trends of current human development determine the relevance of research aimed at substantiating and analyzing the prerequisites, relevance, implementation of the discipline "Basics of Ecological Terminology" in the training of ecologist based on the essence, meaning, terminological competence as part of professionalism and ecological culture of national elite.

The national elite determines the intellectual, moral and ethical, political, economic climate of society and is its most valuable capital and priority resource. The decisive role in its preparation belongs to education, which is able to form such personal qualities that contribute to the support of a sustainable society and the fulfillment of its development with innovative elements.

An integral part of professional competence, professionalism is terminological competence, which can also be considered as an independent or as a structural component of information, communication, speech, culture. The study of its essence, specifics, characteristics, levels of formation and analysis of related concepts "terminology", "terminology system", "term" allow to identify current problems of terminological competence in ecological science related to the level of terminological potential of the individual, ecological culture, negative aspects of modern process of term formation, problems of development of ecological terminology system. Formation of terminological competence of the ecologist — systematic, optimally organized, purposeful, provided with the use of effective teaching aids and methods and concretized by its specific principles,

focused on achieving the main objectives and goals of education, improving ecological culture and strengthening the professional elite, implementation of innovative activities and implementation of ecological imperatives in the development of the country.

A component of the implementation of tasks and solving problems of formation of terminological competence of future highly qualified competitive ecologists can be considered the introduction of the educational discipline “Basics of Ecological Terminology” in educational programs of higher education institutions, identification of aspects of term formation and term use, study of the dynamics of terms and the role of the latter in professional knowledge, scientific, expert, industrial, managerial, innovative activities of the ecologist.

Key words: ecology, elite, competence, term, terminology, terminology system, basics of ecological terminology.

Citation as:

- APA** Malenko, Ya. V. (2021). *Osnovy ekolohichnoho terminoznavstva: peredumovy, aktualnist, implementatsiia* [Basics of ecological terminology: prerequisites, relevance, implementation]. *Ekolohichnyi visnyk Kryvorizhzhia* [Ecological Bulletin of Kryvyi Rih District], 6, 33–50. <https://doi.org/10.31812/eco-bulletin-krd.v6i0>.
- ДСТУ 8302:2015** Маленко Я. В. Основи екологічного термінознавства: передумови, актуальність, імплементація. *Екологічний Вісник Криворізьжя*. 2021. Вип. 6. С. 33–50.

**АКТУАЛЬНІ ПИТАННЯ
ПРИКЛАДНОЇ ЕКОЛОГІЇ
ПРОМИСЛОВИХ РЕГІОНІВ**

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

<https://doi.org/10.31812/eco-bulletin-krd.v6i0>

ФАУНА НАЗЕМНИХ ХРЕБЕТНИХ ЖОВТОКАМ'ЯНСЬКОГО КАР'ЄРУ

Є. О. Брошко*, Е. О. Євтушенко

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

Анотація. Кар'єри, які не працюють, можна розглядати як об'єкти для відновлення біорізноманіття після їх виведення із промислового використання. Вдалим прикладом є Жовтокам'янський кар'єр (Криворізький район). Протягом трьох місяців 2018 р. і 2020–2021 рр. проводилися дослідження фауни хребетних на відпрацьованій ділянці кар'єру, де наявні переважно деревно-чагарникові угруповання, і на безпосередньо прилеглих ділянках, представлених різними біотопами (степ, агрофітоценози, водойма). Застосовано класичні методи маршрутного й абсолютного обліку земноводних, плазунів, птахів, дрібних ссавців. Виявлено 73 види (2 — земноводних, 4 — плазунів, 63 — птахів, 4 — ссавців). Видовий склад хребетних у самому кар'єрі та на прилеглих ділянках є цілком відповідним. Встановлено, що кількість осілих і кочових видів птахів приблизно рівна кількості мігруючих видів.

Для зимової та ранньовесняної орнітофауни притаманні здебільшого всеїдні та рослиноїдні види. Комахоїдні види притаманні переважно літній орнітофауні у зв'язку із сезонною приуроченістю коливань фауни безхребетних. За гніздуванням більше половини видів птахів є дендрофілами. Безпосередньо на території кар'єру виявлено 4 види хребетних, занесених до Червоної книги України. Видовий склад земноводних, плазунів і ссавців, а також динаміка коливань чисельності і видового складу птахів, потребують подальшого дослідження. Отже, цей об'єкт є перспективним для відновлення біорізноманіття та приваблення нових видів.

Ключові слова: біорізноманіття, кар'єри, фауна, наземні хребетні, птахи.

Вступ. В умовах індустріального Криворіжжя відносно незаймана природа тісно межує із промисловими об'єктами. До таких об'єктів належать численні кар'єри, призначені для видобування гірських порід неглибокого залягання. Незалежно від характеру розроблюваних порід, подібні споруди займають досить великі території та створюють сильно видозмінений ландшафт (котловани, відвали «пустих» порід, склади видобутого матеріалу на різних етапах його обробки). Унаслідок цього завдається велика шкода більшості біологічних видів, які, втративши сприятливі (іноді й унікальні) умови для свого існування, скорочують свою чисельність, або й зникають на цій території [11, 16].

Відповідно до сказаного вище, основною проблемою гірничо-видобувної промисловості є її суттєвий вплив на біорізноманіття. Тому розуміння проблеми збереження і відновлення біорізноманіття, а також активні заходи, спрямовані на вирішення цієї проблеми, належать до числа основних завдань сучасного менеджменту гірничих підприємств [1, 5, 9, 11, 16]. Усвідомлюючи це, на кар'єрах здійснюють заходи з рекультивації земель після припинення на них видобувної діяльності, створення на них агроценозів, рекреаційних ландшафтів тощо. Найпростішою формою відновлення біорізноманіття є повне залишення території зі зведенням до мінімуму фактору турбування та забруднення. До таких ділянок належать, зокрема, і непрацюючі частини кар'єрів.

У кар'єрах чи окремих їхніх частинах, де було припинено видобувну роботу, з часом відбуваються поступові сукцесійні процеси з поетапним відновленням флори і фауни та встановленням зв'язків між окремими компонентами біогеоценозу [6, 15]. Ці процеси зумовлені тісним контактом із навколишнім природним середовищем, яке не піддалося безпосередньому техногенному впливу. За рахунок цього відбувається вселення рослин і тварин із навколишніх прилеглих територій. Подібні процеси часто можна спостерігати як на вапнякових кар'єрах [3, 6, 7, 12], так і на інших каменедобувних підприємствах [4, 10, 13].

Поступове відновлення флори в непрацюючих кар'єрах насамперед створює сприятливі умови для приваблення та збагачення ентомофауни [7], яка, зі свого боку, цілком природньо приваблює птахів. Загалом заселення відбувається за рахунок видів, притаманних біотопам саме тієї місцевості, де розташований кар'єр [3, 13, 14]. Але кар'єри можуть чинити і додатковий позитивний вплив на збагачення місцевої орнітофауни, створюючи нові місця для гніздування багатьох видів [4]. Специфічні умови рельєфу кар'єрів можуть приваблювати ті види птахів, які є нетиповими для даної місцевості (наприклад, скельні види) [10].

Мета роботи — визначення видового складу наземних хребетних (насамперед птахів) на відпрацьованій частині Жовтокам'янського кар'єру, а також на безпосередньо прилеглих до нього територіях.

Матеріали та методи. Жовтокам'янський кар'єр (Жовтокам'янське родовище цементної сировини) розташований за 20 км на північний схід від м. Апостолове (районний центр колишнього Апостолівського району, а нині належить до Криворізького району). Фізико-географічно родовище знаходиться на схилі південно-східної

частини Придніпровської височини. Площа кар'єру — 103 га, довжина — 1100 м, глибина — 0–40 м. Режим роботи підприємства — цілорічний, щоденний [16].

Дослідження фауни хребетних здійснено на частині кар'єру, яка не працює (із переважно чагарниково-деревними рослинними угрупованнями на дні та трьох бермах), а також на безпосередньо прилеглих до нього ділянках (смуга шириною до 100–200 м), представлених переважно агрофітоценозами (поля та полезахисні лісосмуги) та водним біотопом (р. Жовтенька). Спостереження проведено в березні-червні 2018 р. (під час виконання конкурсного проєкту The Quarry Life Award 2018 [16]) і протягом 2020–2021 рр. у різні сезони (включно з нічним обліком).

Використано стандартні методи обліку наземних хребетних: метод маршрутного обліку земноводних і плазунів [2]; метод абсолютного маршрутного обліку птахів [8]; облік дрібних ссавців за методом пастко-ліній [17].

Результати. Протягом періоду спостережень у межах відпрацьованої частини Жовтокам'янського кар'єру та на прилеглих територіях виявлено 2 види Земноводних (*Amphibia*) і 4 види Плазунів (*Reptilia*) (табл. 1), 63 види Птахів (*Aves*) (табл. 2), 4 види Ссавців (*Mammalia*) (табл. 3). Найбільшу увагу приділено птахам, які є найбільш численною групою хребетних серед представлених на цій території. Виявлені види розподілено на окремі категорії:

- 1) за статусом перебування (осілі, кочові, перелітні, зимуючі);
- 2) за типом гніздування (дендрофіли — ті, що гніздяться на деревах чи у чагарниках; кампофіли — серед трав'янистої рослинності степів чи луків; лімнофіли — на водоймах чи поблизу них; склерофіли — ті, що гніздяться на скелях чи в норах, серед яких більшість є синантропами, які гніздяться у спорудах або на них);
- 3) за основним типом живлення (рослиноїдні, зерноїдні, комахоїдні, хижі, рибоїдні, всеїдні). Також зазначено приналежність кожного до природоохоронних списків різного рівня (Червоної книги України, червоного списку Міжнародного союзу охорони природи, списків додатків Бернської конвенції).

Таблиця 1. Видовий склад земноводних і плазунів
Жовтокам'янського кар'єру
Table 1. Species composition of amphibian and reptiles
of Zhovtokam'yansky quarry

Родина	Вид	Природо-охоронний статус
Ряд Безхвості <i>Anura</i> Fischer von Waldheim, 1813		
Кумкові <i>Bombinatoridae</i> Gray, 1825	Кумка звичайна <i>Bombina bombina</i> L., 1761	МСОП LC БК дод. II
Ропухові <i>Bufo</i> Gray, 1825	Ропуха зелена <i>Bufo viridis</i> Laurenti, 1768	МСОП LC БК дод. II
Ряд Черепахи <i>Testudines</i>		
Прісноводні черепахи <i>Emydidae</i>	Болотяна черепаха <i>Emys orbicularis</i>	МСОП NT БК дод. II
Ряд Лускати <i>Squamata</i> Oppel, 1811		
Ящіркові <i>Lacertidae</i> Gray, 1825	Ящірка прудка <i>Lacerta agilis</i> L., 1758	МСОП LC БК дод. II
	Ящірка зелена <i>Lacerta viridis</i> Laurenti, 1768	ЧКУ МСОП LC БК дод. II
Полозові <i>Colubridae</i> Oppel, 1811	Вуж звичайний <i>Natrix natrix</i> Stejneger, 1907	МСОП LC БК дод. III

Примітки: ЧКУ — Червона книга України. МСОП — Червона книга Міжнародного союзу охорони природи (NT — стан виду близький до загрозливого; LC — стан виду має найменший ризик). БК — Бернська конвенція (додаток II — види, що потребують суворої охорони; додаток III — види, що потребують охорони).

Таблиця 2. Видовий склад птахів Жовтокам'янського кар'єру
Table 2. Species composition of birds of Zhovtokam'yansky quarry

Вид	Статус перебування	Тип гніздування	Основний тип живлення	Природо-охоронний статус
Ряд Лелекоподібні <i>Ciconiiformes</i> Bonaparte, 1854				
Родина Чаплеві <i>Ardeidae</i> Leach, 1820				
Чепура велика <i>Ardea alba</i> L., 1758	перелітні	лімнофіли	рибоїдні	МСОП LC БК дод. III

Продовження табл. 2

Чапля сіра <i>Ardea cinerea</i> L., 1758	перелітні	лімнофіли	рибоїдні	МСОП LC БК дод. III
Ряд Гусеподібні <i>Anseriformes</i> Wagler, 1831				
Родина Качині <i>Anatidae</i> Leach, 1820				
Лебідь-шипун <i>Cygnus olor</i> J. F. Gmelin, 1789	перелітні	лімнофіли	рослиноїдні	МСОП LC БК дод. II
Крижень <i>Anas platyrhynchos</i> L., 1758	осілі, кочові	лімнофіли	всеїдні	МСОП LC БК дод. III
Ряд Яструбоподібні <i>Accipitriformes</i> Vieillot, 1816				
Родина Яструбові <i>Accipitridae</i> Vigors, 1824				
Лунь очеретяний <i>Circus aeruginosus</i> L., 1758	перелітні	кампофіли	хижі	МСОП LC БК дод. II
Яструб малий <i>Accipiter nisus</i> L., 1758	осілі, кочові	дендрофіли	хижі	МСОП LC БК дод. II
Канюк звичайний <i>Buteo buteo</i> L., 1758	осілі, кочові	дендрофіли	хижі	МСОП LC БК дод. II
Зимняк <i>Buteo lagopus</i> Pontoppidan, 1763	зимуючі	дендрофіли	хижі	МСОП LC БК дод. II
Ряд Соколоподібні <i>Falconiformes</i> Sharpe, 1874				
Родина Соколові <i>Falconidae</i> Leach, 1820				
Підсоколик великий <i>Falco subbuteo</i> L., 1758	перелітні	дендрофіли	хижі	МСОП LC БК дод. II
Ряд Куроподібні <i>Galliformes</i> Temminck, 1820				
Родина Фазанові <i>Phasianidae</i> Horsfield, 1821				
Куріпка сіра <i>Perdix perdix</i> L., 1758	осілі	кампофіли	зерноїдні, комахоїдні	МСОП LC БК дод. III
Фазан звичайний <i>Phasianus colchicus</i> L., 1758	осілі	дендрофіли	рослиноїдні	МСОП LC БК дод. III
Перепілка звичайна <i>Coturnix coturnix</i> L., 1758	перелітні	кампофіли	зерноїдні	МСОП LC БК дод. III
Ряд Журавлеподібні <i>Gruiformes</i> Bonaparte, 1854				
Родина Журавлеві <i>Gruidae</i> Vigors, 1825				
Журавель сірий <i>Grus grus</i> L., 1758	перелітні (пролітні)	лімнофіли	рослиноїдні	ЧКУ МСОП LC БК дод. II
Ряд Сивкоподібні <i>Charadriiformes</i> Huxley, 1867				
Родина Мартиніві <i>Laridae</i> Rafinesque, 1815				

Продовження табл. 2

Мартин жовтоногий <i>Larus cachinnans</i> Pallas, 1811	перелітні (пролітні)	лімнофіли	рибоїдні	МСОП LC БК дод. III
Крячок річковий <i>Sterna hirundo</i> L., 1758	перелітні	лімнофіли	комахоїдні	МСОП LC БК дод. II
Родина <i>Сивкові</i> Leach, 1820				
Чайка чубата <i>Vanellus vanellus</i> L., 1758	перелітні	лімнофіли	рослиноїдні	МСОП NT БК дод. III
Ряд Голубоподібні <i>Columboformes</i> Latham, 1790				
Родина Голубові <i>Columbidae</i> Leach, 1820				
Припутень <i>Columba palumbus</i> L., 1758	перелітні	дендрофіли	зерноїдні	МСОП VU
Горлиця звичайна <i>Streptopelia turtur</i> L., 1758	перелітні	дендрофіли	зерноїдні	МСОП VU БК дод. III
Горлиця садова <i>Streptopelia decaocto</i> Frivaldszky, 1838	осілі	дендрофіли	зерноїдні	МСОП VU БК дод. III
Ряд Зозулеподібні <i>Cuculiformes</i> Wagler, 1830				
Родина Зозулеві <i>Cuculidae</i> Leach, 1820				
Зозуля <i>Cuculus canorus</i> L., 1758	перелітні	гніздовий паразит	комахоїдні	МСОП LC БК дод. III
Ряд Совоподібні <i>Strigiformes</i> Wagler, 1830				
Родина Совові <i>Strigidae</i> Leach, 1820				
Сова болотяна <i>Asio flammeus</i> Pontoppidan, 1763	осілі, кочові	дендрофіли	хижі	ЧКУ МСОП LC БК дод. II
Совка <i>Otus scops</i> L., 1758	перелітні	дендрофіли	хижі, комахоїдні	ЧКУ МСОП LC БК дод. II
Сич хатній <i>Athene noctua</i> Scopoli, 1769	осілі	склерофіли, синантропи	хижі	МСОП LC БК дод. II
Ряд Дрімлюгоподібні <i>Caprimulgiformes</i> Ridgway, 1881				
Родина Дрімлюгові <i>Caprimulgidae</i> Vigers, 1825				
Дрімлюга <i>Caprimulgus europaeus</i> L., 1758	перелітні	дендрофіли	комахоїдні	МСОП LC БК дод. II
Ряд Ракшеподібні <i>Coraciiformes</i> Forbes, 1884				
Родина Ракшеві <i>Coraciidae</i> Refinesque, 1815				

Продовження табл. 2

Сиворакша <i>Coracias garrulus</i> L., 1758	перелітні	склерофіли	комахоїдні	ЧКУ МСОП LC БК дод. II
Родина Бджолоїдкові <i>Meropidae</i> Rafinesque, 1815				
Бджолоїдка <i>Merops apiaster</i> L., 1758	перелітні	склерофіли	комахоїдні	МСОП LC БК дод. II
Ряд Дятлоподібні <i>Piciformes</i> Meyer et Wolf, 1810				
Родина Дятлові <i>Picidae</i> Leach, 1820				
Дятел звичайний <i>Dendrocopos major</i> L., 1758	осілі, кочові	дендрофіли	комахоїдні	МСОП LC БК дод. II
Ряд Горобцеподібні <i>Passeriformes</i> L., 1758				
Родина Ластівкові <i>Hirundinidae</i> Rafinesque, 1815				
Ластівка берегова <i>Riparia riparia</i> L., 1758	перелітні	склерофіли	комахоїдні	МСОП LC БК дод. II
Ластівка сільська <i>Hirundo rustica</i> L., 1758	перелітні	склерофіли, синантропи	комахоїдні	МСОП LC БК дод. II
Родина Жайворонкові <i>Alaudidae</i> Vigors, 1825				
Посмітюха <i>Galerida cristata</i> L., 1758	осілі	кампофіли	зерноїдні	МСОП LC БК дод. III
Жайворонок польовий <i>Alauda arvensis</i> L., 1758	перелітні	кампофіли	зерноїдні	МСОП LC БК дод. III
Жайворонок рогатий <i>Eremophila alpestris</i> L., 1758	зимуючі	кампофіли	зерноїдні	МСОП LC БК дод. III
Родина Плискові <i>Motacillidae</i> Horsfield, 1821				
Щеврик польовий <i>Anthus campestris</i> L., 1758	перелітні	кампофіли	комахоїдні	МСОП LC БК дод. II
Плиска біла <i>Motacilla alba</i> L., 1758	перелітні	кампофіли	комахоїдні	МСОП LC БК дод. II
Родина Сорокопудові <i>Laniidae</i> Rafinesque, 1815				
Сорокопуд терновий <i>Lanius collurio</i> L., 1758	перелітні	дендрофіли	комахоїдні	МСОП LC БК дод. II
Сорокопуд чорнолобий <i>Lanius minor</i> J. F. Gmelin, 1788	перелітні	дендрофіли	комахоїдні	МСОП LC БК дод. II
Родина Вивільгові <i>Oriolidae</i> Vigors, 1825				
Вивільга <i>Oriolus oriolus</i> L., 1758	перелітні	дендрофіли	комахоїдні	МСОП LC БК дод. II
Родина Воронові <i>Corvidae</i> Leach, 1820				

Продовження табл. 2

Сорока <i>Pica pica</i> L., 1758	осілі	дендрофіли	всеїдні	МСОП LC
Сойка <i>Garrulus glandarius</i> L., 1758	осілі	дендрофіли	всеїдні	МСОП LC
Галка <i>Corvus monedula</i> L., 1758	осілі, кочові	дендрофіли	всеїдні	МСОП LC
Грак <i>Corvus frugilegus</i> L., 1758	осілі, кочові	дендрофіли	всеїдні	МСОП LC
Крук <i>Corvus corax</i> L., 1758	осілі	дендрофіли	всеїдні	МСОП LC БК дод. III
Ворона сіра <i>Corvus cornix</i> L., 1758	осілі	дендрофіли	всеїдні	МСОП LC
Родина Кропив'янкові <i>Sylviidae</i> Leach, 1820				
Кобилочка солов'їна <i>Locustella luscinioides</i> Savi, 1824	перелітні	лімнофіли	комахоїдні	МСОП LC БК дод. III
Очеретянка велика <i>Acrocephalus arundinaceus</i> L., 1758	перелітні	лімнофіли	комахоїдні	МСОП LC БК дод. III
Кропив'янка сіра <i>Sylvia communis</i> Latham, 1787	перелітні	дендрофіли	комахоїдні	МСОП LC БК дод. II
Родина Мухоловкові <i>Muscicapidae</i> Fleming, 1822				
Трав'янка лучна <i>Saxicola rubetra</i> L., 1758	перелітні	кампофіли	комахоїдні	МСОП LC БК дод. II
Трав'янка чорноголова <i>Saxicola torquata</i> L., 1766	перелітні	кампофіли	комахоїдні	МСОП LC БК дод. II
Кам'янка звичайна <i>Oenanthe oenanthe</i> L., 1758	перелітні	кампофіли	комахоїдні	МСОП LC БК дод. II
Родина Дроздові <i>Turdidae</i> Rafinesque, 1815				
Соловейко східний <i>Luscinia luscinia</i> L., 1758	перелітні	дендрофіли	комахоїдні	МСОП LC БК дод. II
Чикотень <i>Turdus pilaris</i> L., 1758	кочові	дендрофіли	рослиноїдні	МСОП LC БК дод. II
Дрізд чорний <i>Turdus merula</i> L., 1758	осілі, кочові	дендрофіли	рослиноїдні	МСОП LC БК дод. II
Родина Синицеві <i>Paridae</i> Vigors, 1825				
Синиця велика <i>Parus major</i> L., 1758	осілі, кочові	дендрофіли	комахоїдні, всеїдні	МСОП LC БК дод. II
Синиця блакитна <i>Cyanistes caeruleus</i> L., 1758	осілі, кочові	дендрофіли	комахоїдні, всеїдні	МСОП LC БК дод. II

Продовження табл. 2

Родина Горобцеві <i>Passeridae</i> Rafinesque, 1815				
Горобець польовий <i>Passer montanus</i> L., 1758	осілі	дендрофіли синантропи	рослиноїдні комахоїдні	МСОП LC БК дод. III
Горобець хатній <i>Passer domesticus</i> L., 1758	осілі	дендрофіли синантропи	рослиноїдні комахоїдні	МСОП LC
Родина В'юркові <i>Fringillidae</i> Leach, 1820				
Зяблик <i>Fringilla coelebs</i> L., 1758	перелітні	дендрофіли	комахоїдні	МСОП LC БК дод. III
Зеленяк <i>Carduelis chloris</i> L., 1758	осілі	дендрофіли	рослиноїдні	МСОП LC БК дод. II
Щиглик <i>Carduelis carduelis</i> L., 1758	осілі	дендрофіли	зерноїдні	МСОП LC БК дод. II
Коноплянка <i>Acanthis cannabina</i> L., 1758	осілі	дендрофіли	зерноїдні	МСОП LC БК дод. II
Родина Вівсянкові <i>Emberizidae</i> Vigors, 1825				
Просянка <i>Emberiza calandra</i> L., 1758	осілі	кампофіли	зерноїдні	МСОП LC БК дод. III
Вівсянка звичайна <i>Emberiza citrinella</i> L., 1758	осілі	кампофіли	зерноїдні	МСОП LC БК дод. II
Вівсянка садова <i>Emberiza hortulana</i> L., 1758	перелітні	дендрофіли	зерноїдні	МСОП LC БК дод. III

Примітки: ЧКУ — Червона книга України. МСОП — Червона книга Міжнародного союзу охорони природи (VU — вразливий вид; NT — стан виду близький до загрозливого; LC — стан виду має найменший ризик). БК — Бернська конвенція (додаток II — види, що потребують суворої охорони; додаток III — види, що потребують охорони).

Таблиця 3. Видовий склад ссавців Жовтокам'янського кар'єру
Table 3. Species composition of mammals of Zhovtokam'yansky quarry

Родина	Вид	Природо-охоронний статус
Ряд Зайцеподібні <i>Lagomorpha</i> Brandt, 1855		
Зайцеві <i>Leporidae</i> Fischer de Waldheim, 1817	Заєць сірий <i>Lepus europaeus</i> Pallas, 1778	МСОП LC БК дод. III
Ряд Гризуни <i>Rodentia</i> Bowdich, 1821		
Мишеві <i>Muridae</i> Illiger, 1811	Миша польова <i>Apodemus agrarius</i> Pallas, 1778	МСОП LC

Продовження табл. 3

Ряд Хижі <i>Carnivora</i> Bowdich, 1821		
Псові <i>Canidae</i> Fischer, 1817	Лисиця звичайна <i>Vulpes vulpes</i> L., 1758	МСОП LC
Ряд Парнокопиті <i>Artiodactyla</i> Owen, 1848		
Оленеві <i>Cervidae</i> Goldfuss, 1820	Сарна європейська <i>Capreolus capreolus</i> L., 1758	МСОП LC БК дод. III

Примітки: МСОП — Червона книга Міжнародного союзу охорони природи (LC — стан виду має найменший ризик). БК — Бернська конвенція (додаток III — види, що потребують охорони).

Обговорення. Наші дані про кількість видів із різних класів наземних хребетних загалом досить близькі до наявних даних щодо кар'єрів як України [3, 14], так й інших країн [13].

Земноводні. Сприятливі для земноводних (кумка червоночерева, ропуха зелена) умови в кар'єрі наявні лише навесні та раннім літом — тоді, коли утворюються тимчасові водойми на бермах та на дні. Після рясних дощів такі утвори є досить численними, тому в них можна спостерігати як дорослих особин, так і численних пуголовків. Досить велика чисельність типових для таких умов представників Напівтвердокрилих (*Hemiptera* L., 1758) і Двокрилих (*Diptera* L., 1758) комах (як у личинковій, так й імагінальній фазах) створюють добру кормову базу для Земноводних. В інші сезони тварини перебувають у стані гібернації, або ж, що більш вірогідно, мігрують до прилеглих водойм.

Плазуни. Плазуни у частині кар'єру, яка не працює, представлені 3 видами. Ящірка прудка є типовим видом і досить масово відмічається на бортах, бермах та частині днища кар'єру, які добре прогріваються сонцем. Поодинокі особини ящірки зеленої зустрічаються на верхніх бермах. Вуж звичайний зустрічається на початку кар'єру з південного боку. Зимують плазуни у природних схованках — тріщинах і порожнинах у субстраті, поява яких обумовлена карстовими явищами. Також на одній із берм кар'єру виявлено останки дорослої особини болотяної черепахи. Це є опосередкованим свідченням наявності цього виду у прилеглих водних біотопах.

Птахи. Загалом пташине населення кар'єру є досить типовим як для деревно-чагарникових і лучно-степових угруповань регіону.

Із 63 видів птахів, виявлених протягом періоду спостережень на кар'єрі та прилеглих територіях (у т. ч. і на берегах водойм), 27 видів є

осілими (кочовими), 31 — перелітними гніздовими, 3 види — пролітні, 2 види — зимуючі (рис. 1).

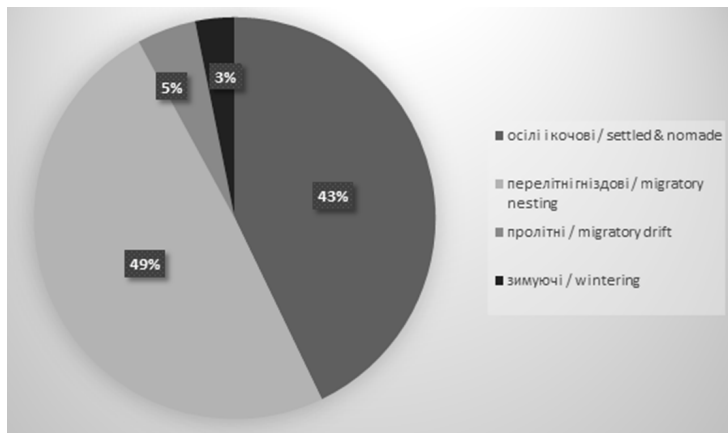


Рис. 1. Розподіл видів птахів за статусом перебування
 Figure 1. Distribution of bird species by status

За біотопами птахи розподіляються наступним чином: дендрофіли — 34 види, кампофіли — 13 видів, лімнофіли — 10 видів, склерофіли — 3 види, синантропи — 2 види (рис. 2).

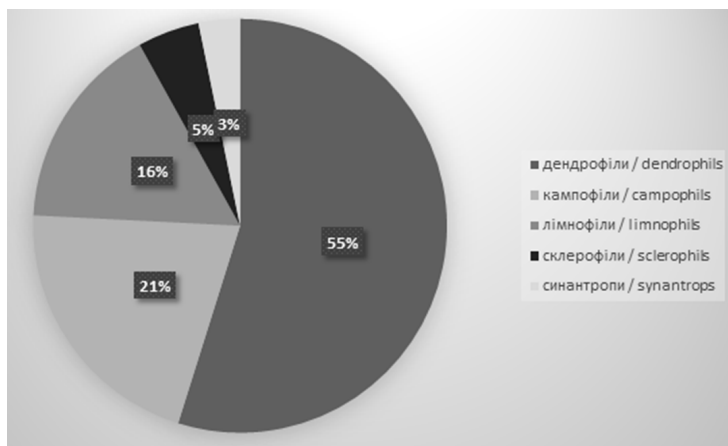


Рис. 2. Розподіл видів птахів за біотопами
 Figure 2. Distribution of bird species by biotope

За харчовою нішею птахів можна розподілити на 4 основні категорії: комахоїдні (26 видів), рослиноїдні (19 видів), плотоїдні (хижі та рибоїдні, 11 видів), всеїдні (7 видів) (рис. 3).

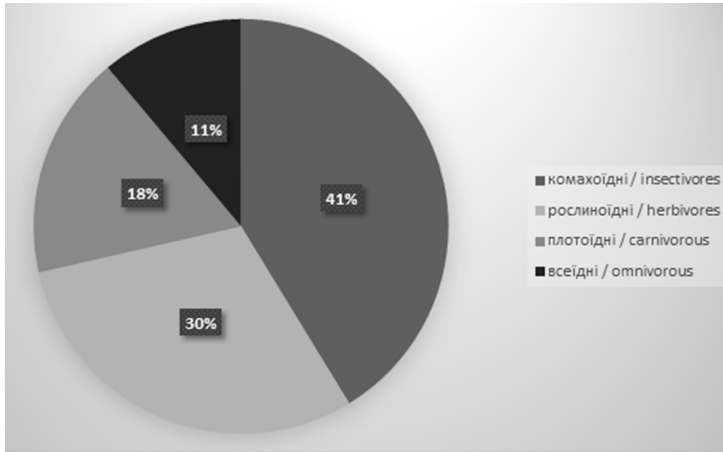


Рис. 3. Розподіл видів птахів за живленням
Figure 3. Distribution of bird species by feeding

Ранньовесняна орнітофауна в кар'єрі та на прилеглих територіях представлена переважно осілими видами (дятел звичайний, сойка, сорока, синиці велика та блакитна, горобці польовий і хатній, зеленьяк, щиглик, коноплянка, вівсянка звичайна, посмітюха), а також ранньомігруючими (припутень, жайворонок польовий, плиска біла, кам'янка звичайна, зяблик). Ці види є переважно зерноїдними або всеїдними, тобто можуть знаходити корм у достатній кількості навіть узимку та ранньої весни. Найчисленнішим серед співочих птахів є польовий горобець. Також порівняно численні такі звичайні види, що полюбують деревну рослинність, як синиці велика і блакитна, зяблик, зеленьяк, сорока, щиглик. Типовими дендрофільними птахами є дятел звичайний і сойка.

Добре помітно, що погодні умови та стан вегетації рослин у ранньовесняний період визначають переважання видів птахів, що належать до трофічних ніш, які не потребують висококалорійного специфічного корму (всеїдні та зерноїдні види). Кوماхоїдні та плотоїдні групи представлені великою кількістю видів лише в періоди активної вегетації рослинності.

Для літньої орнітофауни також досить цікавим представником є вивільга. Це досить скритний птах, що гніздиться виключно серед густого листя крон великих дерев дна і першої берми. Тому цей вид цілком імовірно не залишає деревне угруповання кар'єру протягом всього гніздового періоду.

Велика кількість деревно-чагарникової рослинності робить кар'єр дуже привабливим для фазана, який зустрічається у великих кількостях протягом усього року. Судячи з численних залишків із кісток і пір'я фазана, він є основною великою здобиччю для крупних хижих птахів і лисиці.

Для літнього населення на 2-й та 3-й бермах притаманні наступні види птахів: горлиці садова та звичайна, зозуля, бджолоїдка, кропив'янка, трав'янки лучна та чорноголова, соловейко східний, дрізд чорний, просянка, вівсянка звичайна й садова. Присутність тут птахів відкритих просторів (трав'янки, коноплянка, просянка, вівсянки звичайна та садова) свідчить про перехідний характер угруповань на 2-й і 3-й бермах між деревно-чагарниковим типом на дні та лучно-степовим навколо кар'єру. Для зозулі деревно-чагарникові угруповання становлять інтерес як кормова база (вона живиться крупною листоїдною гусінню).

Загалом на межі кар'єру, де наявний перехід від деревно-чагарникової до степової трав'янистої рослинності, відмічаються типові кампофіли: кам'янка звичайна, плиска біла, курішка сіра, жайворонок польовий, посмітюха, плиска біла, трав'янка лучна, просянка, вівсянка звичайна. Усі ці види можуть гніздитися серед чагарників та у траві. Також вони знаходять тут собі поживу, як-от: насіння трав або комахи. Крім того, зафіксовано заліт на територію кар'єру численних особин ластівки сільської (під час полювання, а також для взяття вологої глини для побудови або ремонту гнізда).

Загалом більшість видів птахів, зареєстрованих безпосередньо в кар'єрі, використовує його як місце гніздування та харчування одночасно; деякі — лише для харчування (ластівка сільська, зозуля).

У глинистих схилах кар'єру роблять гнізда норні склерофіли: з південно-східного кінця наявна колонія сиворакші; з північно-західного — колонії бджолоїдки та берегової ластівки.

Серед типових місцевих видів птахів три ведуть нічний спосіб життя: дрімлюга, совка та сич хатній. Останній, імовірно, гніздиться в населеному пункті неподалік, а на територію кар'єру залітає для полювання.

До орнітофауни прилеглих полів і лісосмуг належить 22 види. Деякі види гніздяться в безпосередній близькості від кар'єру й можуть

регулярно навідуватися на верхні берми у пошуках корму. До них належать: фазан звичайний, куріпка сіра, перепілка, посмітюха, жайворонок польовий, плиска біла, щеврик польовий, сорокопуди терновий (жулан) і чернолобий, трав'янки лучна та чорноголова, коноплянка, просянка, вівсянки звичайна й садова. Помітно, що певна частина видів є спільною для кар'єру (на верхніх бермах) і прилеглих степових ландшафтів. Інші, більш крупні, як Воронові (галка, грак, крук, ворона сіра) або денні хижі (лунь очеретяний, канюк звичайний, підсоколик великий) можуть використовувати кар'єр як невелику частину своєї харчової (мисливської) території та відвідувати його зрідка. Кількість крупних птахів на навколишній території оцінюється в 1 пару для хижих та в 2–3 пари для крука та ворони сірої.

Хижі та воронові птахи гніздяться поодинокі на високих деревах у лісосмугах поблизу кар'єру (канюк звичайний, підсоколик великий, крук, ворона сіра) або в заростях очерету біля річки (лунь очеретяний). У самому кар'єрі на дні проживає пара болотяних сов. Вони, імовірно, займають старе сороче гніздо в північному кінці дна відпрацьованої частини. Територія кар'єру може бути для них повноцінною мисливською ділянкою, оскільки в цій місцевості наявна велика кількість мишовидних гризунів і дрібних птахів. Також є велика вірогідність наявності в кар'єрі малого яструба. Безпосередньо спостерігати цього птаха не вдалося через високий рівень його обережності та скритності.

Окремо слід сказати і про види, які відмічалися на кар'єрі чи поруч лише взимку. Це чикотень, зграйки якого кочують у пошуках ягідних чагарників; зимняк — крупний хижак, який займає нішу канюка звичайного та луня очеретяного, що відлітають у вирій; жайворонок рогатий — тундровий вид, який знаходить відносно сприятливі умови на місцевих степових ландшафтах. Останні два види є дальніми мігрантами з півночі.

Цікаво відмітити, що водні біотопи із заростями гігрофітів у безпосередній близькості до кар'єру можуть виступати і як проміжні пункти для пролітних птахів. Зокрема зафіксовано зграю із 35 особин журавля сірого. Було помітно, що на момент спостереження птахи щойно злетіли та гуртувалися у клин. Більш регулярними й типовими мігрантами, які можна зустріти на водоймі біля кар'єру навесні та восени, є мартин жовтоногий і лебідь-шипун.

Водойми мають специфічний видовий склад пташиного населення (9 видів). Це — чапля сіра та велика біла (чепура велика), крижень, мартин жовтоногий, крячок білокрилий, плиска біла, кобилочка

солов'їна, очеретянка велика. Найбільш цікавою знахідкою є чибіс, три особини якого в польоті над прилеглими полями виявлено в процесі спостереження.

Ссавці. Виявлено такі 4 види ссавців, як: миша польова, заєць сірий, лисиця звичайна (спостерігалися безпосередньо) та сарна європейська. Найбільш сприятливі умови для польової миші наявні серед деревної рослинності (клен, ясен, які є джерелом насіння) на бермах і на дні. Лисиця використовує всю територію кар'єру як мисливську ділянку, про що свідчать і численні слідові доріжки. Про присутність сарни європейської (*Capreolus capreolus*) свідчать певні опосередковані ознаки, а саме: лігво серед кущів і високої трави в лісосмузі неподалік, шлюбні крики самців уночі.

Види, які потребують охорони. Протягом усього періоду спостережень на Жовтокам'янському кар'єрі та прилеглих територіях було відмічено 8 видів наземних хребетних, що потребують охорони на державному або регіональному рівні.

Зокрема до Червоної книги України занесені наступні види: ящірка зелена (вразливий), журавель сірий (рідкісний), сова болотяна (рідкісний), совка (рідкісний), сиворакша (зникаючий).

До Червоного списку Дніпропетровської області належать види: ящірка зелена (вразливий), підсоколик великий (рідкісний), журавель сірий (рідкісний), сова болотяна (рідкісний), совка (вразливий), сич хатній (вразливий), сиворакша (рідкісний), щеврик польовий (рідкісний).

Серед зазначених видів 4 мешкають безпосередньо в кар'єрі (ящірка зелена, сова болотяна, совка, сиворакша); 1 — мешкає у безпосередній близькості до кар'єру (щеврик польовий); 2 — використовують кар'єр як територію для здобування поживи (підсоколик великий, сич хатній); 1 — використовує прилегли території для відпочинку під час міграцій (журавель сірий).

Висновки. Частина Жовтокам'янського кар'єру, яка не працює, є вдалим прикладом відновлення біорізноманіття після завершення гірничо-видобувної діяльності. У ній виявлено стійкі сформовані рослинні угруповання, які дають прихисток і поживу для різноманітних безхребетних і багатьох видів хребетних. Водночас видовий склад хребетних в самому кар'єрі та на прилеглих ділянках є цілком відповідним. Отже, можна стверджувати, що цей об'єкт цілком інтегрувався в навколишнє природне середовище. На частині кар'єру, яка не працює, і на прилеглих ділянках виявлено всього 73 види наземних хребетних. Більшість із них становлять птахи (63 види) як

екологічно досить лабільні істоти в силу своєї здатності до швидкого пересування.

Кількість осілих, кочових і мігруючих видів птахів співвідносяться приблизно рівномірно, так само, як, з одного боку, рослиноїдні та всеїдні, а з іншого — комахоїдні. Це пов'язано з тим що рослинна їжа може бути здобутою птахами протягом цілого року, водночас як наявність комах має чітко виражену сезонність. Більшість видів птахів є дендрофільними.

У кар'єрі чи поблизу нього відмічаються також і види хребетних, що потребують охорони. Отже, цей промисловий об'єкт може мати і певне природоохоронне значення.

Дослідження фауни хребетних Жовтокам'янського кар'єру потребують продовження, оскільки видовий склад птахів може піддаватися певним змінам. Крім того, недостатньо дослідженим є видовий склад земноводних, плазунів і ссавців, що визначає актуальність подальших розвідок задля його уточнення та встановлення динаміки коливань.

References

1. Boiral, O., & Heras-Saizarbitoria, I. (2017). Corporate commitment to biodiversity in mining and forestry: Identifying drivers from GRI reports. *Journal of Cleaner Production*, 162 (20), 153–161. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.06.037>
2. Bulakhov, V. L., Gasso, V. Y., & Pakhomov A. Ye. (2007). *Biologichne riznomanittya krayiny. Dnipropetrovcka oblast. Zemnovodni ta plazuny (Amphibia et Reptilia) [Biological Diversity of Ukraine. The Dnipropetrovsk region. Amphibians and Reptiles (Amphibia et Reptilia)]*, Dnipropetrovsk: Dnipropetr. Nat. Univ. Press. — E-copy included. (in Ukrainian)
3. Chegorka, P. T., Manyuk, V. V., & Kolesnyk, V. M. (2020). Bioriznomanittya Rybal's'kogo karyery i shlyakhy yogo zbagachennya [Biodiversity of Rybalsky quarry and the ways of its enrichment]. *Monitoryng ta okhorona bioriznomanittya v Ukrayini. Pryklacni aspekty monitoryngu ta ohorony bioriznomanittya [Monitoring and protection of biodiversity in Ukraine. Applied aspects of monitoring and protection of biodiversity]*, 3, 473–489. (in Ukrainian)
4. Germano, D., Machado, R., Godinho, S., & Santos, P. (2016). The impact of abandoned/disused marble quarries on avifauna

- in the anticline of Estremoz, Portugal: does quarrying add to landscape biodiversity? *Landscape Research*, 41 (8), 880–891. <https://doi.org/10.1080/01426397.2016.1174772>
5. Giam, X., Olden, J. D., & Simberloff, D. (2018). Impact of coal mining on stream biodiversity in the US and its regulatory implications. *Nature Sustainability*, 1, 176–183. <https://doi.org/10.1038/s41893-018-0048-6>
 6. Gilardelli, F., Sgorbati, S., Citterio, S., & Gentili, R. (2016). Restoring limestone quarries: hayseed, commercial seed mixture or spontaneous succession? *Land Degradation & Development*, 27 (2), 316–324. <https://doi.org/10.1002/ldr.2244>
 7. Kalarus, K., Halecki, W., & Skalski, T. (2019). Both semi-natural and ruderal habitats matter for supporting insect functional diversity in an abandoned quarry in the city of Kraków (S Poland). *Urban Ecosystems*, 22 (5), 943–953. <https://doi.org/10.1007/s11252-019-00869-3>
 8. Ravkin, Y. S. (1967). K metodike ucheta ptits v lesnykh landshaftakh [On the procedure of bird census in forest landscapes]. *Priroda ochagov kleshchevogo entsefalita na Altae [Nature of niduses of tick-borne encephalitis in Altai]*, 66–75. (in Russian)
 9. Salgueiro, P. A., Prach, K., Branquinho, C., & Mira, A. (2020). Enhancing biodiversity and ecosystem services in quarry restoration-challenges, strategies, and practice. *Restoration Ecology*, 28 (3), 655–660. <https://doi.org/10.1111/rec.13160>
 10. Salgueiro, P. A., Silva, C., Silva, A., Sa, C., & Mira, A. (2020). Can quarries provide novel conditions for a bird of rocky habitats? *Restoration Ecology*, 28 (4), 988–994. <https://doi.org/10.1111/rec.13080>
 11. Sontter, L. J., Ali, S. H., & Watson, James E. M. (2018). Mining and biodiversity: key issues and research needs in conservation science. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, 285 (1892), 20181926. <https://doi.org/10.1098/rspb.2018.1926>
 12. Souza, B. A., & Sánchez, L. E. (2018). Biodiversity offsets in limestone quarries: Investigation of practices in Brazil. *Resources Policy*, 57, 213–223. <https://doi.org/10.1016/j.resourpol.2018.03.007>
 13. Telea, A., Topliceanu, T. S., Balasoiu, D., Șerban, R., & Cogalniceanu, D. (2019). Biodiversity in Quarries-a Study Case from Iglicioara Quarry, Romania. *Academy of Romanian Scientists. Annals Series on Biological Sciences*, 8 (1), 5–16.

14. Ulyura, E., & Tytar, V. (2017). Terrestrial Vertebrates of Post-Quarrying Sites in the Donbas Region of Ukraine. *Vestnik Zoologii*, 51 (6), 517. <https://doi.org/10.1515/vzoo-2017-0062>
15. Yevtushenko, E. O., & Popovych Y. M. (2014). Ecolohichna obumovlenist fitoriznomanittya Zhovtokam'yanskoho kar'yeru [Ecological conditionality of phytodiversity of Zhovtokam'yansky quarry]. *Ekolohichnyi visnyk [Ecological Bulletin]*, 10, 18–22. (in Ukrainian)
16. Yevtushenko, E. O., & Savosko, V. M. (2020). Mizhnarodni ekolohichni proekty kafedry botaniky ta ekolohii Kryvorizkoho derzhavnoho pedahohichnoho universytetu [International ecological projects in departments of botany and ecology at Kryvyi Rih State Pedagogical university]. *Ekolohichnyi visnyk Kryvorizhzhia [Ecological Bulletin of Kryvyi Rih District]*, 5, 60–77. <https://doi.org/10.31812/eco-bulletin-krd.v5i0.4354> (in Ukrainian)
17. Zagorodniuk, I. V. (2002). Polyovyi vyznachnyk dribnykh ssavtsiv Ukrayiny [Field key to small mammals of Ukraine]. *Proceedings of the Theriological School*, 5. (in Ukrainian)

**FAUNA OF TERRESTRIAL VERTEBRATES
OF ZHOVTOKAM'YANSKY QUARRY**

Y. O. Broshko, E. O. Yevtushenko

Kryvyi Rih State Pedagogical University, Kryvyi Rih, Ukraine

Abstract. Non-working quarries can be considered as objects for biodiversity restoration after their decommissioning. Zhovtokam'yansky quarry (Kryvyi Rih district) is a good example of that fact. During three months (March to June) of 2018 and all 2020–2021 years, there was investigated tetrapods fauna in the non-working part of the quarry (there are mainly tree-shrub groups are represented) and in the adjacent areas, which are represented by various habitats (steppe, agrophytocenoses, water reservoirs). It was used classical methods of route and absolute accounting of amphibians, reptiles, birds, and small mammals. 73 terrestrial vertebrates species were identified (2 of amphibians, 4 of reptiles, 63 of birds, 4 of mammals). The species composition of vertebrates in the quarry itself and in the surrounding areas is quite similar. It can be saying that the object is fully integrated into the environment. It was established that the total number of settled and nomadic bird species is approximately equal to the number of migratory species. Mainly omnivorous and herbivorous avian species are characterized for winter and early spring fauna. Insectivorous avian species are characterized mainly for summer fauna due to the seasonal fluctuations of invertebrate fauna. By nesting, more than half of the bird species are dendrophiles. Four species of tetrapods, that listed in the Red Book of Ukraine, were found directly on the territory of the quarry (European green lizard, Short-eared owl, Eurasian scops owl, European roller). Some of the migratory birds (including Common crane, that listed in the

Red Book of Ukraine) may use the adjacent pond as a resting place during migrations. Species composition of amphibians, reptiles and mammals, as well as the dynamics of fluctuations of the number and species composition of birds, require further study. Therefore, this facility is promising for the restoration of biodiversity and the attraction of new species.

Key words: biodiversity, quarries, fauna, tetrapods, birds.

Citation as:

- APA** Broshko, Ye. O., & Yevtushenko, E. O. (2021). Fauna nazemnykh khrebetnykh Zhvotokamianskoho karieru [Fauna of terrestrial vertebrates of Zhvotokam'yansky quarry]. *Ekolohichnyi visnyk Kryvorizhzhia [Ecological Bulletin of Kryvyi Rih District]*, 6, 53–71. <https://doi.org/10.31812/eco-bulletin-krd.v6i0>.
- ДСТУ 8302:2015** Брошко Є.О., Євтушенко Е.О. Фауна наземних хребетних Жовтокам'янського кар'єру. *Екологічний Вісник Криворіжжя*. 2021. Вип. 6. С. 53–71.

ВИДОВИЙ СКЛАД ХВОЙНИХ РОСЛИН ЗЕЛЕНИХ НАСАДЖЕНЬ МЕТАЛУРГІЙНОГО ТА ДОВГИНЦІВСЬКОГО РАЙОНІВ МІСТА КРИВИЙ РІГ

А. В. Головчак, Я. В. Маленко*

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

Анотація. Площа та якісний стан зелених насаджень визнані міжнародним індикатором відповідності інфраструктури міста принципам сталого розвитку. Багатофункціональність зелених насаджень визначає їх архіважливе, стратегічне значення в галузі благоустрою промислових міст завдяки здатності нейтралізувати та зменшувати несприятливий вплив різних факторів антропоного і техногенного походження, створювати комфортні умови для відпочинку, забезпечувати конституційні права громадян на життя у сприятливому середовищі. Особлива роль у складі зелених насаджень міста належить хвойним видам. Біологічні, екологічні, санітарно-гігієнічні, декоративні особливості та властивості цих рослин визначають їх високу господарську цінність, є передумовою актуальності проведення деталізованих досліджень, спрямованих на комплексне вивчення таксономічного фонду Хвойних зелених насаджень певного функціонального призначення конкретних районів міста Кривий Ріг із метою їх оптимізації.

Дослідження таксономічного складу хвойних рослин реалізовані в межах зелених насаджень загального й обмеженого користування. Під час виконання роботи обстежено 33 ділянки Металургійного та 25 ділянок опису Довгинцівського адміністративно-територіальних районів міста. Результати аналізу демонструють вузький спектр видів хвойних рослин, що використовуються в озелененні. Так, у межах ділянок дослідження зареєстровано лише 10 видів хвойних, що є представниками 6 родів і 3 родин. Більш різноманітним за асортиментом є склад зелених насаджень загального користування, де зустрічаються гніздові групи з *Picea abies* (L.) Karst., *Thuja occidentalis* L., *Pinus sylvestris* L., наявні алеї з *Picea abies* (L.) Karst. та *Picea pungens* Engelm., *Pinus sylvestris* L. На територіях закладів охорони здоров'я наявні групові посадки з *Thuja occidentalis* L., *Picea abies* (L.) Karst. та *Picea pungens* Engelm., *Pinus sylvestris* L. Слід зауважити, що в зелених насадженнях обмеженого користування, розташованих на територіях закладів охорони здоров'я, хвойні, навіть у невеликій кількості таксонів, присутні завжди. Найменше різноманіття видів зареєстровано у складі зелених насаджень обмеженого користування закладів освіти. Найбільшого поширення набули представники родин *Pinaceae* та *Cupressaceae*, зафіксовані в зелених насадженнях різного функціонального призначення.

*Corresponding author. E-mail addresses: yanamal1971@gmail.com

Аналіз результатів досліджень засвідчує потребу розширення асортименту хвойних рослин зелених насаджень загального й обмеженого користування за рахунок вже адаптованих до специфічних умов промислового регіону видів із використанням можливостей коніферетуму Криворізького ботанічного саду НАН України. Перспективними для озеленення можна вважати: *Cryptomeria japonica* Thunb. ex L.f., *Juniperus squamata* Lamb., *Juniperus procumbens*, *Pinus nigra* ssp. *pallasiana*, *Pseudotsuga menziessii* (Mirb.) Franco., *Pinus strobus* L., *Abies alba* Mill., *Picea omotica* (Panc.) Purkyně, *Chamaecyparis lawsoniana* Parl.

Ключові слова: хвойні рослини, озеленення, зелені насадження, таксон, таксономічний склад.

Вступ. Сьогодні на всіх рівнях суспільної інтеграції обговорюються питання вжиття кардинальних заходів щодо збереження різноманіття, відтворення, охорони та раціонального використання рослинного світу. Особливої актуальності вони набувають на фоні стрімких процесів урбанізації, підсилення техногенного тиску на природні системи, проявів негативних наслідків стихійної антропогенної еволюції рослинності.

Багатофункціональність зелених насаджень визначає їх архіважливе, стратегічне значення для промислових міст завдяки здатності нейтралізувати та зменшувати несприятливий вплив різних факторів антропогенного і техногенного походження, створювати комфортні умови для відпочинку, що позитивно позначається на працездатності та здоров'ї населення. Кількість (площа) та якісний стан зелених насаджень визнані міжнародним індикатором відповідності інфраструктури міста принципам сталого розвитку. Озеленення, як комплекс робіт, що включає створення, використання, оздоровлення зелених насаджень, є обов'язковим складником благоустрою населених пунктів.

Правова база озеленення населених пунктів перебуває на стадії розбудови і включає, на сьогодні, низку законодавчих актів: Закони України «Про охорону навколишнього природного середовища» [1], «Про благоустрій населених пунктів» [2], накази «Про затвердження Інструкції з інвентаризації зелених насаджень у населених пунктах України» [10], «Про затвердження Правил утримання зелених насаджень у населених пунктах України» [11], «Про затвердження Положення про систему моніторингу зелених насаджень у містах і селищах міського типу України» [12], Указ Президента України «Про деякі заходи щодо збереження та відтворення лісів і зелених насаджень» [19] тощо. Водночас забезпечення конституційно визначеного права громадян України на життя у сприятливому середовищі вимагає вдосконалення механізму управління та контролю

щодо захисту зелених насаджень, установлення сучасних норм озеленення територій населених пунктів, упровадження дієвої, ефективної і комплексної системи впорядкування, оцінки й обліку зелених насаджень.

Створення системи збереження існуючої екологічної мережі міста та збільшення площі зелених насаджень є однією з оперативних складових стратегічного напрямку «Екологічно безпечне місто ефективного використання ресурсів» документу «Стратегічний план розвитку міста Кривого Рогу на період до 2025 року», що регламентує реалізацію Миської програми вирішення екологічних проблем Кривбасу та поліпшення стану навколишнього природного середовища на 2016–2025 роки, яка затверджена рішенням Криворізької міської ради від 28.09.2016 № 901 [17].

Особлива роль у складі зелених насаджень міста належить хвойним видам. Хвойні рослини є джерелом кисню та легких протимікробних речовин, що сприятливо впливають на кліматичні, санітарно-гігієнічні, екологічні умови, забезпечують оригінальні, комфортні, естетично привабливі місця для відпочинку громадян. До переваг хвойних необхідно віднести різноманіття розмірів, форм і кольорів, що робить їх незамінними в ландшафтному дизайні. Специфіка анатомічних і фізіологічних особливостей цих рослин обумовлює їхню чутливість до впливу техногенних забруднювачів і дозволяє використовувати їх як біоіндикатори стану міських екосистем різного рангу, характеру та ступеню трансформації.

Біологічні, екологічні, санітарно-гігієнічні та декоративні особливості та властивості хвойних рослин визначають їх високу господарську цінність. Різні аспекти й окремі питання використання хвойних в озелененні населених пунктів висвітлені у працях багатьох учених. Так, І. Ю. Іванова [3], Т. М. Черевченко, С. І. Кузнецов [20] та О. О. Сердюк, О. М. Якобчук, Г. А. Кривохатко [16] висвітлюють особливості використання та поширення вічнозелених рослин в озелененні міста Київ, Л. П. Іщук [4] аналізує роль хвойних у зелених насадженнях міста Біла Церква, С. Г. Літвіненко, М. І. Виклюк, Л. О. Бляхарська [7] наводять перелік Голонасінних зелених насаджень міста Чернівці, С. І. Матковська, О. М. Климчик [9] викладають результати досліджень екологічної ролі хвойних у зелених насадженнях міста Житомир, С. О. Потоцька [14] — міста Чернівці, В. В. Пушкар [15] розкриває специфіку використання хвойних у міських насадженнях Києва, Харкова, Черкас, Тернополя, Вінниці, Львова, Хмельницька. В. В. Кучеровський, К. Н. Шоль [6] наводять дані щодо участі *Pinopsida*

у складі урбанofлори Кривого Рогу, Н. С. Терлига, Н. М. Данильчук, Ю. С. Юхименко [18] аналізують роль хвойних рослин у складі насаджень загального користування (парку ім. Б. Хмельницького), Т. Ф. Чипиляк, О. М. Лещенюк, М. Ю. Мазура [21] — у складі урбанодендрofлори Тернівського району міста Кривий Ріг.

Аналітичний огляд публікацій свідчить про активне використання хвойних рослин в озелененні промислових міст, як правило, невеликий їх видовий асортимент у складі зелених насаджень і визначає актуальність проведення деталізованих досліджень, спрямованих на комплексне вивчення таксономічного фонду Хвойних зелених насаджень певного функціонального призначення конкретних районів міста Кривий Ріг з метою їх оптимізації.

Мета — визначення видового складу хвойних рослин зелених насаджень різного функціонального призначення Металургійного та Довгинцівського районів міста Кривий Ріг.

Матеріали та методи. Дослідження проведені на основі системного й елементно-структурного підходів з використанням загальноновизнаних універсальних методів (спостереження, опис, порівняння, аналіз наукової та науково-методичної літератури, аналіз і синтез краєзнавчого матеріалу, абстрагування, індукція, дедукція, формалізація, класифікація, узагальнення). Таксономічний аналіз хвойних рослин у процесі польових рекогносцирувальних і детально-маршрутних досліджень протягом 2020–2021 років здійснено із залученням фундаментальних класичних видань та сучасних конспектів флори.

Дослідженнями були охоплені два адміністративно-територіальні райони Кривого Рогу. Металургійний район (до 2016 року Дзержинський) — один із трьох найстаріших районів міста, був утворений у 1936 році. Його загальна площа становить 4 427 га, а кількість населення — 53 500 осіб. У межах району функціонують 11 промислових підприємств, зокрема промисловий гігант ПАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг», 10 закладів охорони здоров'я (3 лікарні, 7 поліклінік), 7 вищих навчальних закладів, 5 закладів вищої освіти I–II рівня акредитації (коледжі), 2 професійно-технічні навчальні заклади, 10 закладів загальної середньої освіти, 3 спеціалізовані школи, 21 заклад дошкільної освіти, 3 будинки культури, 12 спортивних закладів, 3 великі ринки, 31 зона відпочинку та рекреаційні зони тощо [13]. Довгинцівський район — наймолодший у місті адміністративно-територіальний район, був утворений у 1979 році. Він має загальну площу 5 305 га та чисельність населення близько

95 100 осіб. У районі діє 6 промислових підприємств, зокрема ПАТ «ХайдельбергЦемент Україна», ПАТ «Криворізький суриковий завод», працює 41 навчально-виховний заклад (11 загальноосвітніх шкіл, 1 навчально-виховний комплекс, 20 дошкільних навчальних закладів, 5 позашкільних та КПМНЗ «Криворізька міська музична школа №11»), 5 лікувально-профілактичних закладів і 9 амбулаторій загальної практики сімейної медицини. Складна інфраструктура, висока концентрація промислових підприємств і потужне техногенне навантаження на території цих районів міста обумовили актуальність та доцільність проведення в їх межах багатобічних досліджень зелених насаджень і, зокрема, хвойних видів.

Результати та обговорення. Таксономічний аналіз складу угруповань організмів є багатоспрямованим і передбачає інвентаризацію та облік, результати яких надають можливість характеризувати складність окремих царств живої природи, таксонів, їх збалансованість, зв'язки та можливості розвитку на основі уявлень про функціональну роль тих або тих таксономічних груп у природно чи антропо формованих угрупованнях. Класичний підхід ґрунтується на вивченні складу угруповань як сукупності певних таксонів, як досить відмежованих одна від одної споріднених груп організмів, підпорядкованість і виокремлення яких фіксують ряди таксономічних категорій систематики [8, 22]. Таксон — безрозмірна категорія, певний фрагмент реальності. Основною таксономічною категорією є вид, що за визначенням В. С. Крисаченка [5], акумулює унікальність (різноманіття) органічного світу та його якісність шляхом встановлення певних напрямів розвитку, завдяки чому еволюційний процес зберігає ознаки неперервності, незворотності, спадкоємності та мінливості.

Дослідження таксономічного складу хвойних рослин реалізовані в межах зелених насаджень загального й обмеженого користування. Під час роботи обстежено 33 дослідні ділянки Металургійного та 25 дослідних ділянок Довгинцівського адміністративно-територіальних районів міста. Розташування ділянок опису в межах зелених насаджень різного функціонального призначення наведено в таблицях 1 та 2.

Аналіз складу зелених насаджень загального користування Металургійного району дозволив виявити 10 видів хвойних (*Juniperus communis* L., *Juniperus sabina* L., *Juniperus virginiana* L., *Platycladus orientalis* (L.) Franco., *Thuja occidentalis* L., *Picea abies* (L.) Karst., *Picea glauca* (Moench)Voss., *Picea pungens* Engelm., *Pinus sylvestris* L., *Taxus baccata* L.), які належать до 6 родів (*Juniperus* L., *Picea* Dietr., *Pinus* L., *Platycladus* Spach, *Taxus* L., *Thuja* L.) та 3 родин (*Pinaceae*,

Таблиця 1. Розташування описових ділянок у межах зелених насаджень загального й обмеженого користування
Металургійного району м. Кривий Ріг

Table 1. Location of descriptive areas within the green areas of general and limited use of the Metallurgical District of Kryvyi Rih

Номер ділянки	Повна назва	Адреса
Зелені насадження загального користування		
1	парк імені Б. Хмельницького	пр. Металургів
2	парк Героїв	пр. Металургів
3	сквер Героїв	вул. Героїв АТО
4	парк 60-річчя Перемоги	вул. В. Гурова
5	сквер біля ДП «Криворізький державний цирк»	вул. В. Матусевича
6	сквери між житловими будинками по вул. В. Матусевича	–
7	сквер біля Міськвиконкому	площа Молодіжна
8	Металургійний відділ державної реєстрації актів цивільного стану	пр. Металургів, 16
Зелені насадження обмеженого користування (заклади освіти)		
1	Донецький юридичний інститут МВС України	вул. С. Тільги, 21
2	ДВНЗ Криворізький національний університет	вул. Матусевича, 11а
3	КВНЗ «Криворізький фаховий медичний коледж»	вул. Медична, 14
4	Державний інститут економіки і технологій	вул. Медична, 16б
5	КФ НУ «Одеська юридична академія»	пр. Миру, 22
6	Криворізька загальноосвітня спеціалізована школа І–ІІІ ступенів №4 Криворізької міської ради	вул. Героїв АТО, 15
7	Центр підготовки і перепідготовки робітничих кадрів №1	вул. Каховська, 13б
8	Криворізька загальноосвітня школа І–ІІІ ступенів №15 ім. М. Решетняка Криворізької міської ради	вул. Криворіжсталі, 40

Продовження табл. 1

9	Криворізька загальноосвітня школа I–III ступенів № 26 Криворізької міської ради	вул. В. Бизова, 7а
10	Криворізька загальноосвітня школа I–III ступенів № 103 Криворізької міської ради	вул. Костенка, 23
11	Криворізька гімназія № 95 Криворізької міської ради	вул. Соборності, 20а
12	Криворізький науково-технічний металургійний ліцей № 16 Криворізької міської ради	вул. С. Тільги, 22
13	Криворізька загальноосвітня школа I–III ступенів № 69 Криворізької міської ради	вул. Хабаровська, 4
14	Криворізька загальноосвітня школа I–III ступенів № 66 Криворізької міської ради	вул. Вокзальна, 6
15	Криворізька гімназія № 63 Криворізької міської ради	вул. Агафонова, 14а
16	Криворізька загальноосвітня школа I–III ступенів № 7 з поглибленим вивченням біології Криворізької міської ради	вул. Героїв АТО, 48
17	Криворізька загальноосвітня школа I–III ступенів № 75 Криворізької міської ради	вул. Героїв АТО, 52
Зелені насадження обмеженого користування (заклади охорони здоров'я)		
1	Комунальне підприємство «Криворізька станція переливання крові» Дніпропетровської обласної ради	вул. Медична, 12
2	Комунальне підприємство «Криворізький цент боротьби зі СНІДом» Дніпропетровської обласної ради	вул. Нікопольське шосе, 4г
3	Комунальне підприємство «Криворізька стоматологічна поліклініка № 2» Криворізької міської ради	пр. Металургів, 12
4	Комунальний заклад «Криворізька станція швидкої медичної допомоги» Дніпропетровської обласної ради	вул. Нікопольське шосе, 8

Продовження табл. 1

5	Комунальне некомерційне підприємство «Криворізька міська лікарня № 1» Криворізької міської ради	вул. Святогеоргіївська, 8а
6	Комунальне некомерційне підприємство «Криворізька інфекційна лікарня № 1» Криворізької міської ради	вул. Ю. Камінського, 5
7	Комунальне підприємство «Криворізький протитуберкульозний диспансер» Дніпропетровської обласної ради	вул. Ю. Камінського, 4а
8	Комунальне некомерційне підприємство «Центр первинної медико-санітарної допомоги № 5» Криворізької міської ради	вул. Криворіжсталі, 2

Таблиця 2. Розташування описових ділянок у межах зелених насаджень загального й обмеженого користування Довгинцівського району м. Кривий Ріг

Table 2. Location of descriptive plots within green plantations of general and limited use of Dovhyntsyvsky district of Kryvyi Rih

Номер ділянки	Повна назва	Адреса
Зелені насадження загального користування		
1	сквер біля виконкому районної у місті ради	вул. Дніпропетровське шосе, 14
2	сквер біля пам'ятника «Катюша»	вул. Соборності
3	сквер вздовж вулиці Магістральна	вул. Магістральна
4	парк за «ЦЮТ ДРУЖБА»	вул. Магістральна
5	парк «Залізничників»	вул. Серафимовича
6	парк «Ювілейний»	вул. Соборності
7	зелена зона мікро р-ну Східний-1	вул. Незалежності України
8	дендропарк на ст. «Батуринська»	вул. Шполянська
9	площа перед спорткомплексом «Локомотив»	вул. Магістральна
Зелені насадження обмеженого користування (заклади освіти)		
1	Криворізька педагогічна гімназія Криворізької міської ради	вул. Героїв АТО, 88

Продовження табл. 2

2	Криворізька загальноосвітня школа I–III ступенів № 65 Криворізької міської ради	вул. С. Тільги, 63
3	Криворізький науково-технічний металургійний ліцей № 81 Криворізької міської ради	вул. Сімонова, 10
4	Криворізька загальноосвітня школа I–III ступенів № 87 Криворізької міської ради	вул. Сормовська, 5
5	Криворізька загальноосвітня школа I–III ступенів № 88 Криворізької міської ради	вул. Колійна, 26
6	Криворізька загальноосвітня школа I–III ступенів № 89 Криворізької міської ради	вул. Мальовнича, 1а
7	Криворізька загальноосвітня школа I–III ступенів № 90 Криворізької міської ради	вул. Кокчетавська, 1а
8	Криворізька загальноосвітня школа I–III ступенів № 94 Криворізької міської ради	вул. Промислова, 11
9	Криворізька загальноосвітня школа I–III ступенів № 108 Криворізької міської ради	вул. Соборності, 115
10	Криворізька загальноосвітня школа I–III ступенів № 109 Криворізької міської ради	вул. Я. Мудрого, 83
11	Криворізька загальноосвітня школа I–III ступенів № 128 Криворізької міської ради	вул. Сімонова, 12
12	Криворізький гуманітарно-технічний ліцей № 129 Криворізької міської ради	вул. Пензенська, 39
13	Криворізька загальноосвітня школа I–III ступенів № 130 Криворізької міської ради	вул. Незалежності України, 12
Зелені насадження обмеженого користування (заклади охорони здоров'я)		
1	Комунальне підприємство «Криворізький онкологічний диспансер» Дніпропетровської обласної ради	вул. Дніпропетровське шосе, 41

Продовження табл. 2

2	Комунальне некомерційне підприємство «Криворізька міська дитяча лікарня № 2» Криворізької міської ради	вул. Революційна, 71
3	Комунальне некомерційне підприємство «Криворізька міська лікарня № 10» Криворізької міської ради	вул. Вернадського, 141а

Cupressaceae, *Taxaceae*). У межах зелених насаджень обмеженого користування, розташованих на територіях закладів освіти, виявлено 7 видів (*Juniperus communis* L., *Platycladus orientalis* (L.) Franco, *Thuja occidentalis* L., *Picea abies* (L.) Karst., *Picea glauca* (Moench)Voss., *Picea pungens* Engelm., *Pinus sylvestris* L.) 5 родів (*Juniperus* L., *Picea* Dietr., *Pinus* L., *Platycladus* Spach, *Thuja* L.) двох родин (*Cupressaceae*, *Pinaceae*). Склад хвойних зелених насаджень територій закладів охорони здоров'я цього району міста охоплює 5 видів (*Juniperus communis* L., *Picea abies* (L.) Karst., *Picea glauca* (Moench)Voss., *Picea pungens* Engelm., *Pinus sylvestris* L.) 3 родів (*Juniperus* L., *Picea* Dietr., *Pinus* L.) двох родин (*Cupressaceae*, *Pinaceae*).

У насадженнях загального користування Довгінцівського адміністративно-територіального району Кривого Рогу зафіксовано 9 видів хвойних рослин (*Juniperus communis* L., *Juniperus virginiana* L., *Picea abies* (L.) Karst., *Picea glauca* (Moench)Voss., *Picea pungens* Engelm., *Pinus sylvestris* L., *Platycladus orientalis* (L.) Franco, *Taxus baccata* L., *Thuja occidentalis* L.), що належать до 6 родів (*Juniperus* L., *Picea* Dietr., *Pinus* L., *Platycladus* Spach, *Taxus* L., *Thuja* L.) 3 родин (*Cupressaceae*, *Pinaceae*, *Taxaceae*). Хвойні зелених насаджень обмеженого користування територій закладів освіти представлені 7 видами (*Juniperus communis* L., *Juniperus virginiana* L., *Picea abies* (L.) Karst., *Picea glauca* (Moench)Voss., *Picea pungens* Engelm., *Pinus sylvestris* L., *Thuja occidentalis* L.) 4 родів (*Juniperus* L., *Picea* Dietr., *Pinus* L., *Thuja* L.) родин *Cupressaceae* та *Pinaceae*. Спектр хвойних зелених насаджень обмеженого користування територій закладів охорони здоров'я містить 6 видів (*Juniperus communis* L., *Picea abies* (L.) Karst., *Picea glauca* (Moench)Voss., *Picea pungens* Engelm., *Pinus sylvestris* L., *Thuja occidentalis* L.) 4 родів (*Juniperus* L., *Picea* Dietr., *Pinus* L., *Thuja* L.) двох родин.

Таксономічні спектри хвойних рослин зелених насаджень Металургійного району міста більш ємні і відзначаються домінуванням за кількістю видів (5 видів; 50,0%) і родів (3 роди; 50%) представників

Pinaceae. Ця родина зберігає лідерські позиції в родових спектрах хвойних зелених насаджень обмеженого користування, як територій закладів освіти, так і ділянок закладів охорони здоров'я. Лише у спектрах таксонів зелених насаджень обмеженого користування, розташованих на територіях закладів освіти, за кількістю родів (60%) перевагу має родина *Cupressaceae*. Порівняльний аналіз таксономічного складу хвойних рослин зелених насаджень Металургійного району міста демонструє таблиця 3.

Таблиця 3. Таксономічний склад хвойних рослин зелених насаджень Металургійного району м. Кривий Ріг
Table 3. Taxonomic composition of coniferous green plants of the Metallurgical District of Kryvyi Rih

Родина	Спектри таксонів хвойних зелених насаджень											
	загального користування				обмеженого користування (заклади освіти)				обмеженого користування (заклади охорони здоров'я)			
	1		2		1		2		1		2	
	а	%	а	%	а	%	а	%	а	%	а	%
<i>Cupressaceae</i>	2	33,3	4	40,0	3	60,0	3	42,8	1	33,3	1	20,0
<i>Pinaceae</i>	3	50,0	5	50,0	2	40,0	4	57,2	2	66,7	4	80,0
<i>Taxaceae</i>	1	16,7	1	10,0	–	–	–	–	–	–	–	–
Разом	6	100,0	10	100,0	5	100,0	7	100,0	3	100,0	5	100,0

Примітки: 1 — кількість родів, 2 — кількість видів; а — абсолютна кількість, % — відсоток від загальної кількості видів або родів

Аналогічна картина спостерігається й щодо складу хвойних рослин зелених насаджень різного призначення Довгинцівського району Кривого Рогу. Аналіз спектрів таксонів хвойних зелених насаджень дозволяє визначити наступні особливості:

- 1) розширені спектри хвойних зелених насаджень загального користування;
- 2) домінування у родових спектрах представників *Cupressaceae*, на частку яких припадає не менше 50,0%;
- 3) приблизно рівнозначна частка участі та однакова кількість видів родин *Cupressaceae* та *Pinaceae* у спектрах хвойних зелених насаджень загального й обмеженого користування;

- 4) перевага в таксономічних спектрах хвойних зелених насаджень загального й обмеженого користування видів родини *Pinaceae* (табл. 4).

Таблиця 4. Таксономічний склад хвойних рослин зелених насаджень Довгинцівського району м. Кривий Ріг
Table 4. Taxonomic composition of coniferous plants of green plantations of Dovhyntsivsky district of Kryvyi Rih

Родина	Спектри таксонів хвойних зелених насаджень											
	загального користування				обмеженого користування (заклади освіти)				обмеженого користування (заклади охорони здоров'я)			
	1		2		1		2		1		2	
	a	%	a	%	a	%	a	%	a	%	a	%
<i>Cupressaceae</i>	3	50,0	4	44,4	2	50,0	3	42,8	2	50,0	2	40,0
<i>Pinaceae</i>	2	33,3	4	44,4	2	50,0	4	57,2	2	50,0	3	60,0
<i>Taxaceae</i>	1	16,7	1	11,2	–	–	–	–	–	–	–	–
Разом	6	100,0	9	100,0	4	100,0	7	100,0	4	100,0	5	100,0

Примітки: 1 – кількість родів, 2 – кількість видів; а – абсолютна кількість, % – відсоток від загальної кількості видів або родів

У межах ділянок опису зелених насаджень загального й обмеженого користування хвойні виростають нерівномірно. Тільки на двох ділянках насаджень загального користування Металургійного району зареєстровано по 7 видів, на двох ділянках – по 6, а на решті – менша кількість видів (табл. 5). Схожа тенденція спостерігається і щодо зелених насаджень загального користування Довгинцівського району, де на 1 ділянці опису виявлено 8 видів хвойних рослин, на двох – по 4 види, на одній – 3 види; на одній – 2; на одній – 1; на трьох – жодного. У зелених насадженнях загального користування найчастіше зустрічаються такі хвойні рослини: *Picea glauca* (Moench) Voss., *Picea pungens* Engelm., *Thuja occidentalis* L., *Picea abies* (L.) Karst., *Pinus sylvestris* L.

Зелені насадження обмеженого користування, що розташовані на територіях закладів освіти, відрізняються найменшим різноманіттям хвойних рослин. Тут найчастіше зустрічаються поодинокі особини. На п'яти із сімнадцяти описових ділянок Металургійного району хвойні відсутні взагалі, а найбільша кількість видів зареєстрована на

територіях Криворізької гімназії №95, Криворізької загальноосвітньої спеціалізованої школи I–III ступенів №4 КМР, Криворізької загальноосвітньої школи I–III ступенів №15 ім. Решетняка. Ситуація в зелених насадженнях обмеженого користування Довгинцівського району ідентична. Більша кількість видів виростає на ділянках Криворізької загальноосвітньої школи I–III ступенів №130 КМР, Криворізького науково-технічного металургійного ліцею №81 КМР, Криворізької загальноосвітньої школи I–III ступенів №65 КМР, а на чотирьох ділянках опису хвойні відсутні.

Таблиця 5. Трапляння хвойних рослин у зелених насадженнях загального користування Металургійного та Довгинцівського районів м. Кривий Ріг

Table 5. Occurrence of coniferous plants in green plantations of public use of Metallurgical and Dovgynsivsky districts of Kryvyi Rih

Вид	Описові ділянки зелених насаджень загального користування																	
	Металургійний район								Довгинцівський район									
	1	2	3	4	5	6	7	8	1	2	3	4	5	6	7	8	9	
<i>Juniperus communis</i> L.		+	+			+											+	
<i>Juniperus sabina</i> L.	+	+		+		+												
<i>Juniperus virginiana</i> L.	+								+									
<i>Picea abies</i> (L.) Karst.	+	+		+		+		+	+				+	+				
<i>Picea glauca</i> (Moench) Voss.	+	+		+	+	+	+	+	+				+	+				+
<i>Picea pungens</i> Engelm.	+	+	+	+		+	+	+	+				+	+				+
<i>Pinus sylvestris</i> L.		+		+										+				+
<i>Platycladus orientalis</i> (L.) Franco				+													+	
<i>Taxus baccata</i> L.				+													+	
<i>Thuja occidentalis</i> L.	+	+	+	+		+	+		+				+	+				

У зелених насадженнях обмеженого користування закладів охорони здоров'я виявлено 6 видів хвойних рослин, з яких частіше зустрічаються *Thuja occidentalis* L., *Picea glauca* (Moench) Voss., *Picea pungens* Engelm., *Picea abies* (L.) Karst. Найбільш різноманітними за кількістю видів хвойних рослин є зелені насадження ділянок КНП «Криворізька міська лікарня №1» КМР, КНП «Криворізька інфекційна лікарня №1» КМР, КП «Криворізький протитуберкульозний диспансер» ДОР,

КНП «Центр первинної медико-санітної допомоги № 5» КМР та КП «Криворізький онкологічний диспансер» ДОР (табл. 6).

Таблиця 6. Трапляння хвойних рослин у зелених насадженнях обмеженого користування (заклади охорони здоров'я) Металургійного та Довгинцівського районів м. Кривий Ріг

Table 6. Occurrence of coniferous plants in green plantations of limited use (health care facilities) of Metallurgical and Dovgynsivsky districts of Kryvyi Rih

Вид	Описові ділянки зелених насаджень обмеженого користування (заклади охорони здоров'я)											
	Металургійний район								Довгинцівський район			
	1	2	3	4	5	6	7	8	1	2	3	
<i>Juniperus communis</i> L.											+	+
<i>Picea abies</i> (L.) Karst.			+		+	+	+	+	+			
<i>Picea glauca</i> (Moench) Voss.			+	+	+	+	+	+	+	+		
<i>Picea pungens</i> Engelm.				+	+	+	+	+				
<i>Pinus sylvestris</i> L.			+						+	+		
<i>Thuja occidentalis</i> L.	+	+		+	+	+	+	+	+			+

Висновки. Дослідження видового складу зелених насаджень обмеженого та загального користування Металургійного та Довгинцівського адміністративно-територіальних районів Кривого Рогу демонструє вузький спектр видів хвойних рослин, що використовуються в озелененні. Так, у межах ділянок дослідження зареєстровано лише 10 видів хвойних, що є представниками 6 родів і 3 родин. Більш різноманітним за асортиментом є склад зелених насаджень загального користування (парків, скверів), де зустрічаються гніздові групи з ялини звичайної, туї західної, сосни звичайної (парк ім. Б. Хмельницького, сквер біля ДП «Криворізький державний цирк», парк Ювілейний). Також можна зустріти алеї з ялини звичайної та колючої, сосни звичайної (парк 60-річчя перемоги, сквер Героїв, сквери між житловими будинками по вул. Матусевича). Тільки на одній ділянці з 17 обстежених (парк Ювілейний) зареєстровано 8 видів Хвойних, на 7 ділянках зафіксовано 4–7 видів (парк ім. Б. Хмельницького, парк Героїв, парк 60-річчя Перемоги, сквер біля Державного цирку,

сквер Героїв, сквер біля виконкому районної у місті ради, парк «Залізничників»). На територіях закладів охорони здоров'я наявні групові посадки туї західної, ялини звичайної та колючої, сосни звичайної. На п'яти ділянках, розташованих у межах комунальних підприємств «Криворізька міська лікарня №1», «Криворізька інфекційна лікарня №1», «Криворізький протитуберкульозний диспансер», «Центр первинної медико-санітарної допомоги №5» та «Криворізький онкологічний диспансер» виростає по 4 види хвойних рослин. Слід зауважити, що в зелених насадженнях обмеженого користування, розташованих на територіях закладів охорони здоров'я, хвойні, навіть у невеликій кількості таксонів, присутні завжди. Найменше різноманіття видів зареєстровано у складі зелених насаджень обмеженого користування закладів освіти. У їх межах часто зустрічаються поодинокі особини, а на 9 описових ділянках хвойні відсутні взагалі.

Найбільшого поширення набули представники двох родин *Pinaceae* та *Cupressaceae*, зафіксовані в зелених насадженнях різного функціонального призначення. Родина *Taxaceae* представлена лише одним видом *Taxus baccata* L., що занесений до Червоної книги України.

Аналіз результатів досліджень засвідчує потребу розширення асортименту хвойних рослин зелених насаджень загального й обмеженого користування Металургійного та Довгинцівського районів міста Кривий Ріг. Оновлення асортименту хвойних рослин зелених насаджень доцільно здійснювати за рахунок вже адаптованих до умов регіону видів із використанням можливостей коніферетуму Криворізького ботанічного саду НАН України. Ураховуючи досвід науковців України, перспективними для озеленення можна вважати: *Cryptomeria japonica* Thunb. ex L.f., *Juniperus squamata* Lamb., *Juniperus procumbens*, *Pinus nigra* ssp. *pallasiana*, *Pseudotsuga menziesii* (Mirb.) Franco., *Pinus strobus* L., *Abies alba* Mill., *Picea omorica* (Panc.) Purkyne, *Chamaecyparis lawsoniana* Parl.

References

1. Zakony Ukrainy "Pro okhoronu navkolyshnoho pryrodnoho seredovysshcha" [Laws of Ukraine "On Environmental Protection"]. (1991). *Vidomosti Verkhovnoi Rady Ukrainy. [Information of the Verkhovna Rada of Ukraine]*, 41, 546. <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1264-12#Text> (in Ukrainian).

2. Zakon Ukrainy “Pro blahoustrii naselenykh punktiv” [Law of Ukraine “On the improvement of settlements”]. (2005). *Vidomosti Verkhovnoi Rady Ukrainy*. [Information of the Verkhovna Rada of Ukraine], 49, 517. <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2807-15#Text> (in Ukrainian).
3. Ivanova, I. Iu. (2017). Khvoini roslyny v botanichnomu sadu im. akad. O. V. Fomina [Coniferous trees in the botanical garden im. acad. O. V. Fomina]. *Aktualni problemy ozelenennia naselenykh mist: osvita, nauka, vyrobnytstvo, mystetstvo formuvannia landshaftu* [Urgent problems of greening the populations of the world: education, science, virobnytstvo, mystery of the formation of the landscape], 61–63. https://science.btsau.edu.ua/sites/default/files/tezy/tezy_mignarod_konf_ozelenen.pdf (in Ukrainian).
4. Ishchuk, L. P. (2020). Vykorystannia khvoynykh roslyn (Rinopsida) v ozelenenni mista Bila Tserkva [The use of conifers (Pinopsida) in landscaping the city of Bila Tserkva]. *Priorytetni napriamky doslidzhennia Holonasinnykh u suchasnykh umovakh: materialy Pershoi mizhnarodnoi nauk. konf.* [Priority areas of research of gymnosperms in modern conditions, Proceeding of the First International Sciences. conf.], 96–100. <http://rep.btsau.edu.ua/handle/BNAU/5446> (in Ukrainian).
5. Krysachenko, V. S. (1998). Liudyna i biosfera: osnovy ekolohichnoi antropolohii [Man and the biosphere: basics of ecological anthropology]. Kyiv: Zapovit. (in Ukrainian).
6. Kucherevskiy, V. V., & Shol, H. N. (2009). Anatovanyi spysok urbanoflory Kryvoho Rohu [Annotated list of urban flora of Kryvyi Rih]. Kryvyi Rih: Publishing house. <http://garden.gov.ua/index.php/science/naukova-biblioteka/public/61-statti-shol-hn?start=2> (in Ukrainian).
7. Litvinenko, S. H., Vykliuk, M. I., & Bliakharska, L. O. (2017). Pidsumky inventaryzatsii zelenykh nasadzhen mista Chernivtsi [Results of the inventory of greenery in the city of Chernivtsi]. *Naukovyi visnyk NLTU Ukrainy* [Scientific bulletin of NLTU of Ukraine], 27 (1), 48–53. <http://ibhb.chnu.edu.ua/dpt/botany/publikatsiyi-za-2017-rik> (in Ukrainian).
8. Malenko, Ya. V. (2021). Ekoloho-taksonomichni spektry — kompleksni pokaznyky orhanizovanosti skladu roslynnykh uhrupovan [Ecological and taxonomic spectra are complex indicators of the organization of the composition of plant groups]. *Formation of innovative potential of world science: collection of scientific papers “SCIENTIA” with Proceedings of*

- the I International Scientific and Theoretical Conference*, 1, 115–120. <https://doi.org/10.36074/scientia-07.05.2021> (in Ukrainian).
9. Matkovska, S.I., & Klymchuk, O.M. (2016). Ekolohichna rol predstavnykiv rodu *Picea* u zelenykh nasadzhenniakh mista Zhytomyra [Ecological role of representatives of the genus *Picea* in green areas of Zhytomyr]. *Naukovyi visnyk NLTU Ukrainy [Scientific bulletin of NLTU of Ukraine]*, 26(8), 210–215. https://nv.nltu.edu.ua/Archive/2016/26_8/35.pdf (in Ukrainian).
 10. Nakaz Derzhavnoho komitetu budivnytstva, arkhitektury ta zhytlovoi polityky Ukrainy “Pro zatverdzhennia Instruksii z inventaryzatsii zelenykh nasadzhen u naselenykh punktakh Ukrainy” [About the statement of the Instruction on inventory of green plantings in settlements of Ukraine: the order of the State committee of construction, architecture and housing policy of Ukraine] (2002). <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0182-02#Text> (in Ukrainian).
 11. Nakaz Ministerstva budivnytstva, arkhitektury ta zhytlovo-komunalnoho hospodarstva Ukrainy “Pro zatverdzhennia Pravyl utrymanna zelenykh nasadzhen u naselenykh punktakh Ukrainy” [The order of the Ministry of Construction, architecture and housing and communal services of Ukraine “About the statement of Rules of the maintenance of green plantings in settlements of Ukraine”]. (2006). *Ofitsiyni visnyk Ukrainy [Official Gazette of Ukraine]*, 31, 2276. <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0880-06#Text> (in Ukrainian).
 12. Nakaz Ministerstva z pytan zhytlovo-komunalnoho hospodarstva Ukrainy “Pro zatverdzhennia Polozhennia pro systemu monitorynhu zelenykh nasadzhen u mistakh i selyshchakh miskoho typu Ukrainy” [The order of the Ministry of Housing and Communal Services of Ukraine “About the statement of the Situation on system of monitoring of green plantings in the cities and settlements of city type of Ukraine”]. (2008). *Ofitsiyni visnyk Ukrainy [Official Gazette of Ukraine]*, 80, 2711. <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0981-08#Text> (in Ukrainian).
 13. Pasport Metalurhiinoho raionu [Passport of the Metallurgiy region] (2016). <http://mtlrg-kr.gov.ua/node/2287> (in Ukrainian).
 14. Pototska, S.O. (2012). Porivnialnyi analiz dendroflory zelenykh nasadzhen mista Chernihova [Comparative analysis of the dendroflora of greenery in the city of Chernihiv]. *Naukovyi visnyk Uzhhorodskoho universytetu [Scientific Bulletin of Uzhhorod University]*, 33, 64–70. http://nbuv.gov.ua/UJRN/Nvuu_2012_33_12 (in Ukrainian).

15. Pushkar, V. V. (2013). Khvoini u miskomu seredovyskhi [Conifers in an urban environment]. *Naukovyi visnyk NLTU Ukrainy [Scientific bulletin of NLTU of Ukraine]*, 23 (9), 264–271. https://nv.nltu.edu.ua/Archive/2013/23_9/264_Pusz.pdf (in Ukrainian).
16. Serdiuk, O. O., Yakobchuk, O. M., & Kryvokhatko, H. A. (2014). Perspektyvy vykorystannia khvoinykh derevnykh roslyn dlia zelenoho budivnytstva v umovakh mista Kyieva na prykladi zelenykh nasadzen Natsionalnoho universytetu bioresursiv i pryrodokorystuvannia Ukrainy [Prospects for the cultivation of coniferous trees for green life in the minds of the city of Kiev on the greenery of the National University of Bioresources and Natural History of Ukraine]. *Naukovyi visnyk NLTU Ukrainy [Scientific bulletin of NLTU of Ukraine]*, 24 (4), 148–153. https://nv.nltu.edu.ua/Archive/2014/24_4/148_Ser.pdf (in Ukrainian).
17. Stratehichnyi plan rozvytku mista Kryvyi Rih na period do 2025 roku [Strategic plan for the development of the city of Kriviy Rig for the period until 2025]. (2015). https://kr.gov.ua/ua/st/pg/100415583959267_s/ (in Ukrainian).
18. Terlyha, N. S., Danylchuk, N. M., & Yukhymenko, Yu. S. (2018). Struktura zelenykh nasadzen parku im. Bohdana Khmelnytskoho ta perspektyvy yikh rozvytku (m. Kryvyi Rih, Dnipropetrovska oblast) [The structure of green plantations in Bohdan Khmelnytsky park and prospects of their development (Kryvyi Rih, Dnipropetrovsk region)]. *Visnyk Odeskoho Natsionalnoho Universytetu, seriia Biolohiia [Bulletin of Odessa National University, Biology]*, 23, 2 (43), 38–48. [https://doi.org/10.18524/2077-1746.2018.2\(43\).146954](https://doi.org/10.18524/2077-1746.2018.2(43).146954) (in Ukrainian).
19. Ukaz Prezydenta Ukrainy “Pro deiaki zakhody shchodo zberezhennta ta vidtvorennia lisiv i zelenykh nasadzen” [Decree of the President of Ukraine “On some measures for the preservation and reproduction of forests and greenery”] (2008). <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/995/2008#Text> (in Ukrainian).
20. Cherevchenko, T. M., & Kuznetsov, S. I. (2003). Bioriznomanittia derevnykh roslyn v umovakh mehapolisiv ta yoho optymizatsiia (na prykladi m. Kyieva) [Biological development of village dewes in the minds of megalopolises and their optimization (on the butt of the city of Kiev)]. *Naukovyi visnyk NLTU Ukrainy [Scientific bulletin of NLTU of Ukraine]*, 13 (5), 22–27. <https://cyberleninka.ru/article/n/bioriznomanittya->

derevnih-roslin-v-umovah-megapolisiv-ta-yogo-optimizatsiya-na-prik-ladi-m-kieva/viewer (in Ukrainian).

21. Chypyliak, T. F., Leshcheniuk, O. M., & Mazura, M. Yu. (2017). Stan derevno-chaharnykovykh nasadzhenn terytorii obmezhenoho korystuvannia promyslovoho raionu mista Kryvyi Rih [Condition of tree and shrub plantations in areas of limited use of the industrial district of the city of Kryvyi Rih]. *Naukovyi visnyk NLTU Ukrainy [Scientific bulletin of NLTU of Ukraine]*, 27 (1), 97–100. http://nbuv.gov.ua/UJRN/nvntlu_2017_27.1_23 (in Ukrainian).
22. Shanda, V. I., Yevtushenko, Ye. O., Voroshylova, N. V., Shanda, L. V., Malenko, Ya. V., & Kobriushko O. O. (2020). Teoretychni problemy bioheotsenolohii: kolektyvna monohrafiia [Theoretical problems of biogeocenology: collective monograph]. N. A. Belova (ed.). Kryvyi Rih: Publisher Chernyavsky D. O. <http://elibrary.kdpu.edu.ua/handle/123456789/4077> (in Ukrainian).

SPECIES COMPOSITION OF CONIFEROUS GREEN PLANTATIONS OF METALLURGICAL AND DOVHYNTSIVSKY DISTRICTS OF KRYVYI RIH

A. V. Holovchak, Ya. V. Malenko

Kryvyi Rih State Pedagogical University, Kryvyi Rih, Ukraine

Abstract. The area and quality condition of green spaces are recognized as an international indicator of the compliance of the city's infrastructure with the principles of sustainable development. The multifunctionality of green spaces determines their paramount, strategic importance in the improvement of industrial cities due to the ability to neutralize and reduce the adverse impact of various factors of anthropic and technogenic origin, create comfortable conditions for recreation, and ensure the constitutional rights of citizens to live in a favorable environment. Coniferous species play a special role in the composition of the city's green spaces. Biological, ecological, sanitary and hygienic, decorative features and properties of these plants determine their high economic value, which is a prerequisite for the relevance of detailed research aimed at a comprehensive study of the taxonomic fund of coniferous greenery of certain functional areas of Kryvyi Rih to optimize them.

Studies of the taxonomic composition of conifers have been implemented within green areas of public and limited use. In the course of the work 33 sections of Metallurgical and 25 sections of the description of Dovhyntsiivsky administrative-territorial districts of the city were inspected. The results of the analysis show a narrow range of species of conifers used in landscaping. Thus, only 10 species of conifers, which are representatives of 6 genera and 3 families, were registered within the study areas. The composition of public green areas is more diverse in terms of assortment. Here are nesting groups of *Picea abies* (L.) Karst., *Thuja occidentalis* L., *Pinus sylvestris* L., available alleys with *Picea abies* (L.) Karst. and *Picea pungens* Engelm., *Pinus sylvestris* L. In the territories of health care institutions there are group plantings with *Thuja*

occidentalis L., *Picea abies* (L.) Karst. and *Picea pungens* Engelm., *Pinus sylvestris* L. It should be noted that in the green areas of limited use, located in the territories of health care institutions, conifers, even in a small number of taxa, are always present. The smallest diversity of species is registered in the green areas of limited use of educational institutions. Representatives of families *Pinaceae* and *Cupressaceae*, recorded in green plantations of different functional purpose, became the most widespread.

The analysis of the research results testifies to the need to expand the range of coniferous green plants of general and limited use due to the species already adapted to the specific conditions of the industrial region using the capabilities of the Kryvyi Rih Botanical Garden of the NAS (National Academy of Sciences) of Ukraine. Promising for landscaping can be considered *Cryptomeria japonica* Thunb. ex L.f., *Juniperus squamata* Lamb., *Juniperus procumbens*, *Pinus nigra* ssp. *pallasiana*, *Pseudotsuga menziesii* (Mirb) Franco., *Pinus strobus* L., *Abies alba* Mill., *Picea omorica* (Panc.) Purkyne, *Chamaecyparis lawsoniana* Parl.

Key words: conifers, landscaping, greenery, taxon, taxonomic composition.

Citation as:

Holovchak, A. V., & Malenko, Ya. V. (2021). Vydovyi sklad khvoynykh roslyn zelenykh nasadzhen Metalurhiinoho ta Dovhyntsivskoho raioniv mista Kryvyi Rih [Species composition of coniferous green plantations of Metallurgical and Dovhyntsivsky Districts of Kryvyi Rih]. *Ekologichnyi visnyk Kryvorizhzhia [Ecological Bulletin of Kryvyi Rih District]*, 6, 72–91. <https://doi.org/10.31812/eco-bulletin-krd.v6i0>.

**ДСТУ
8302:2015**

Головчак А. В., Маленко Я. В. Видовий склад хвойних рослин зелених насаджень Металургійного та Довгинцівського районів міста Кривий Ріг. *Екологічний Вісник Криворіжжя*. 2021. Вип. 6. С. 72–91.

АНАЛІЗ МУТАГЕНЕЗУ В АПІКАЛЬНИХ МЕРИСТЕМАХ КОРЕНІВ *Zea mays* L. (РОАСЕАЕ) ІНДУКОВАНОГО СУМІСНОЮ ДІЄЮ ІОНІВ КАДМІЮ, НІКЕЛЮ І ЦИНКУ

О. М. Зубровська*

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

Анотація. У роботі представлені результати проведеного цитологічного аналізу апікальних меристем коренів кукурудзи гібриду Бліц 160 МВ за наявності в середовищі зростання іонів цинку, нікелю і кадмію. Встановлено, що сумісна дія іонів важких металів насамперед викликала загальне зниження мітотичного індексу та зростання в меристематичних клітинах проростків *Z. mays* частки клітин, які знаходяться на стадії профазы та метафазы. На відміну від цього, відсоток анафазних клітин знижувався на 15–20%, а частка телофазних клітин — у 1,2–1,5 раза відносно контрольних умов відповідно. У спектрі цитогенетичних порушень, викликаних дією важких металів у коренях гібриду кукурудзи Бліц 160 МВ, були зареєстровані аномалії, обумовлені пошкодженням хромосом (одинарні та множинні мости, аглютинація хромосомом) та аномалії, обумовлені пошкодженням мітотичного апарату (відставання та випередження хромосом, дезорієнтовані хромосоми, фрагменти хромосомом і багатополосні мітози). Порівняно з контролем, наявність у середовищі зростання іонів кадмію, цинку та нікелю як в мінімальних, так і максимальних концентраціях проявляла високу цитотоксичну дію та індукувала збільшення в понад 5 разів кількості аберантних клітин у кореневих меристемах проростків кукурудзи. В цілому, серед хромосомних аберацій найпоширенішими були відставання хромосомом (понад 75% від загальної кількості патологій мітозу), одинарні мости (8,8%), випередження (2,5%) та багатополосність (2,0%). Крім того, сумісна дія іонів металів індукувала утворення таких аномалій, як аглютинація, дезорієнтовані хромосоми та фрагменти. Установлене нами загальне зниження мітотичного індексу і широкий спектр хромосомних аберацій вказують на те, що важкі метали за їх сумісної дії є класотгенними і впливають на хромосоми на рівні ДНК. А показана нами висока цитогенетична активність іонів кадмію, цинку та нікелю підтверджує генетичну небезпеку промислових викидів із вмістом іонів важких металів для організмів в екосистемах і передбачає необхідність розробки національної програми широкомасштабного генетичного моніторингу техногенного забруднення територій промислових регіонів України.

Ключові слова: кадмій, цинк, нікель, *Zea mays*, мітоз, хромосомні аберації, цитогенетичні порушення.

Вступ. Зростання антропогенного впливу на середовище призводить до накопичення в довкіллі генотоксичних хімічних речовин

не лише внаслідок дії промисловості, а й у результаті скиду стічних вод та сільськогосподарських і промислових стоків [12]. Проте одним з найнебезпечніших забруднювачів навколишнього середовища все ж таки залишаються важкі метали, які за токсичністю поступаються лише радіонуклідам та пестицидам [2, 28]. Вони здійснюють не лише загальну токсичну дію на живі організми (насамперед рослини), а й мутагенну, що підтверджується пригніченням мітотичного поділу й абераціями хромосом [9, 28]. Механізми, що лежать в основі індукованої металом генотоксичності будь-якої рослини, досить складні [23] і недостатньо вивчені. Дослідниками встановлено [2, 25], що генотоксичне пошкодження рослинної ДНК важкими металами відбувається опосередковано, за рахунок утворення активних форм кисню під час окиснювального стресу. Важкі метали, як-от: кадмій і плумбум, — можуть інгібувати репарацію та синтез ДНК або навіть блокувати клітини в G₂-фазі клітинного циклу, впливаючи на проходження мітозу, і в такий спосіб пригнічувати ріст рослинних клітин [22]. Крім того, токсичність важких металів викликає різноманітні хромосомні аберації та зменшує швидкість поділу клітин. Існують дані про хромосомні аномалії (аглотинація, випередження/відставання хромосом) в мітотичних клітинах *Cicer*, вирощених на ґрунтах із вмістом важких металів [22]. Рядом дослідників встановлено індуковані важкими металами пошкодження нуклеїнових кислот у таких рослин, як *Allium cepa* [26], *Glycine max* [15], *Helianthus annuus* [7], *Solanum tuberosum* і *Nicotiana tabacum* [11] тощо.

До низки найбільш токсичних металів, які проявляють і високу мутагенну активність, слід віднести кадмій, цинк і нікель. На молекулярно-клітинному рівні кадмій викликає порушення цілісності мембран, заміщує деякі елементи функціональних центрів молекул, що призводить до інактивації багатьох білків [14]. Генотоксичність кадмію насамперед пов'язана з його безпосереднім впливом на структуру та функції ДНК [17, 28]. Наявність кадмію в середовищі зростання викликала аглотинацію хромосом у рослин *Pisum sativum* [24] і *Cicer arietinum* [22], фрагментацію хромосом та утворення мостів у клітинах коренів *Capsicum annuum* і *Vicia faba* [2, 16]. Нікель — відомий мутаген, який першочергово пошкоджує гетерохроматин унаслідок взаємодії з білками й амінокислотами ДНК, зшиваючи їх [18]. Зазначимо, що нікель більшою мірою пригнічує поділ клітин, ніж їх розтягування, і збільшує тривалість мітотичного циклу. Установлено призводить до значного гальмування росту кореня, яке посилюється з часом. Оскільки цинк відіграє важливу роль у процесі мітозу, його надлишок

може індукувати неправильне кодування деяких негістонових білків або безпосередньо реагувати з гістоновими білками, викликаючи зміни поверхневих властивостей хромосом унаслідок помилкового згортання ДНК, що призводить до аглютинації хромосом [21]. За дії високих концентрацій цинку зафіксовано зростання в понад 2 рази рівня хромосомних аберацій у корінцях проростків *Triticum aestivum* [28].

На сьогодні досить рідко відбуваються гострі отруєння металами, тому проблема мутагенної дії відносно низьких концентрації їх сполук і віддалених наслідків такого впливу на організми є вкрай актуальною. У системі біологічного моніторингу важливе місце посідають генетичні дослідження, які дають можливість оцінити на клітинному й молекулярному рівнях наслідки одночасного впливу кількох стрес-факторів для ряду послідовних поколінь [6]. Зазначимо, що незважаючи на широке використання показників генотоксичності в оцінці якості середовища зростання рослин [9, 27], виникнення аномалій мітозу за комплексної дії важких металів нині досить фрагментарні та недостатньо вивчені.

Мета роботи — оцінка цитогенетичних порушень і встановлення спектру патологій мітозу в апікальних меристемах коренів проростків кукурудзи за сумісної дії різних концентрацій цинку, кадмію та нікелю.

Матеріали та методи досліджень. Об'єкт дослідження — дводобові проростки кукурудзи (*Zea mays* L.) гібриду Бліц 160 МВ, які протягом наступних 48 годин вирощувалися на середовищі зі вмістом солей важких металів (CdSO_4 , ZnSO_4 , NiSO_4) у варіантах їх комбінованої дії за мінімальних (кадмій 1×10^{-6} М + цинк 2×10^{-6} М + нікель 1×10^{-6} М) і максимальних (кадмій 1×10^{-5} М + цинк 2×10^{-5} М + нікель 1×10^{-5} М) концентрацій. Контролем слугували проростки, які вирощувалися на дистильованій воді. Відбір проводили після 24- і 48-годинної дії ксенобіотиків.

Для визначення мутагенного ефекту важких металів використовували анафазо-телофазний метод обрахування перебудов хромосом у клітинах кореневих меристем кукурудзи. Фіксацію, мацерацію і приготування тимчасових давлених препаратів корінців проводили в ранковий час на 24 та 48 годину дії токсикантів, за З.П. Паушевою [19]. Особливості цитотоксичної дії солей металів оцінювали за змінами мітотичного індексу (МІ), процентного співвідношення (відносної тривалості) фаз мітозу, сумарного індексу аберацій (Σ_{IA}), відсотку клітин із пікнотичними ядрами. Генотоксичні ефекти виявляли за допомогою мікроскопа Carl Zeiss Primo Staz (збільшення 40.10) шляхом аналізу частот виникнення різноманітних цитогенетичних аномалій

у меристемних клітинах кореневих апексів, вираховані серед усіх клітин на стадіях мітозу. Експерименти проводилися в 5 повторностях, кількість клітин на кожну точку становила як мінімум 5000. Отримані цифрові дані обробляли за допомогою t-критерію Стьюдента за 95%-го рівня значущості.

Результати та їх обговорення. Аналіз патологічних змін в апікальних меристемах коренів кукурудзи за сумісної дії важких металів показав, що насамперед суттєво змінюється мітотична активність клітин. Так, частка профазних клітин як через 24, так і через 48 годин інкубації проростків *Z. mays* на розчинах із вмістом мінімальних концентрацій кадмію, нікелю та цинку зростала від 10% до 20%, а з підвищенням концентрації металів їх кількість порівняно з контролем збільшувалася у 1,4 і 1,5 рази відповідно (табл. 1). Аналогічні зміни у стадіях мітозу меристематичних клітин *Pinus sylvestris* за дії надлишку нікелю та кадмію встановлено М. В. Белоусовим і О. С. Машкіною [4], які виявили, що в максимальних концентраціях важкі метали починають проявляти властивості, подібні фіксаторам (повністю блокують поділ на стадії профазі), що було характерним і в нашому дослідженні.

Таблиця 1. Зміна мітотичної активності в апікальних меристемах коренів проростків *Z. mays* гібриду Бліц 160 МВ, % від загальної кількості клітин

Table 1. Changes in mitotic activity in the apical meristems of the roots *Z. mays* seedlings of the hybrid Blitz 160 BS, % of the total number of cells

Стадія мітозу	Експозиція 24 години			Експозиція 48 годин		
	Контроль, M ± m	Zn+Ni+Cd мін конц., M ± m	Zn+Ni+Cd мак конц., M ± m	Контроль, M ± m	Zn+Ni+Cd мін конц., M ± m	Zn+Ni+Cd мак конц., M ± m
Профаза	38,2 ± 0,05	40,1 ± 0,02*	53,2 ± 0,12*	37,6 ± 0,04	44,3 ± 0,07*	55,0 ± 0,02*
Метафаза	25,3 ± 0,03	24,7 ± 0,03*	21,4 ± 0,05*	26,7 ± 0,07	23,3 ± 0,05*	21,5 ± 0,03*
Анафаза	21,4 ± 0,10	21,6 ± 0,02*	14,8 ± 0,02*	21,8 ± 0,01	20,4 ± 0,10*	13,8 ± 0,14
Телофаза	15,1 ± 0,05	13,6 ± 0,07*	10,6 ± 0,15	13,9 ± 0,10	12,0 ± 0,03*	9,7 ± 0,05*

Примітки: * — розбіжності достовірні відносно контролю за критерієм Стьюдента за $p < 0,05$ вираховані з 5000 клітин

Як видно з таблиці 1, кількість меристематичних клітин на стадії метафази у проростках кукурудзи протягом усіх етапів дослідження залишалася практично на рівні контролю (у варіантах із мінімальним

вмістом суміші важких металів) чи підвищувалася на 2–5% (за дії максимальних концентрацій токсикантів). Установлене, на нашу думку, є механізмом адаптації до стресових факторів і підтримки гомеостазу клітин проростків. На відміну від цього, присутність навіть мінімальних концентрацій іонів нікелю, кадмію і цинку в середовищі зростання індукувала зменшення кількості анафазних клітин в апікальних меристемах коренів (табл. 1), причому їх рівень із часом експозиції продовжував знижуватися на 15% відносно контролю.

За комбінованої дії важких металів найменше. На всіх етапах дослідження фіксувалися клітини на стадії телофаз. Причому, за дії мінімальних концентрацій кадмію, нікелю та цинку, частка телофазних клітин зменшувалася у 1,2 рази, тоді як за максимальних концентрацій металів їх рівень був нижчим за контрольні значення у 1,5–1,6 рази (табл. 1). Зниження чи відсутність ана- і телофаз і збільшення кількості клітин у метафазі, на думку Н. Ф. Павлюкової і Л. В. Богуславської [20], може свідчити про наявність метафазного блоку та порушення функціонування веретена поділу.

Рівень цитотоксичності забруднювачів доквілля можна визначити за зниженням мітотичного індексу (МІ), яке супроводжується зменшенням кількості ДНК за рахунок інгібування її синтезу [18]. Аналіз отриманих даних показав, що найбільшу фітотоксичність протягом усього періоду проростання спричиняла наявність у середовищі зростання важких металів у максимальних концентраціях, проте більшою мірою цей ефект проявлявся за умови збільшення часу інкубації проростків *Z. mays* (рис. 1). При цьому значення МІ у гібриду Бліц 160 МВ зменшувалися в 1,7 рази порівняно з контрольними. Схожу закономірність за дії важких металів встановлено й у рослин *Allium schoenopranum* [5], *Hordeum vulgare* [30] та *Z. mays* [10].

Натомість суміш цинку, нікелю та кадмію у низьких концентраціях практично не змінювали мітотичну активність клітин кореневої меристеми проростків *Z. mays*. Дослідженнями А. І. Довгалюк [9] встановлено, що важкі метали (кадмій та нікель) в ініціальних концентраціях не змінюють або навіть підвищують мітотичну активність клітин кореневої меристеми *Allium cepa*. Установлене нами, скоріш за все, обумовлене тим, що низькі концентрації деяких важких металів, як-от: кадмій, цинк і нікель, — необхідні для нормального функціонування більшості систем рослин.

Патології мітозу зазвичай у незначній кількості зустрічаються у всіх живих організмів. Такі порушення можуть бути наслідком спонтанного мутаційного процесу в результаті впливу дії вторинних продуктів

обміну речовин, які утворюються за нормальних метаболічних процесів в організмі, і в більшості випадків виправляються репараційними системами клітини. Так, у нашому дослідженні в меристематичних клітинах коренів кукурудзи в умовах контролю зустрічалися одинарні та множинні мости, багатополосність і відставання хромосом (табл. 2).

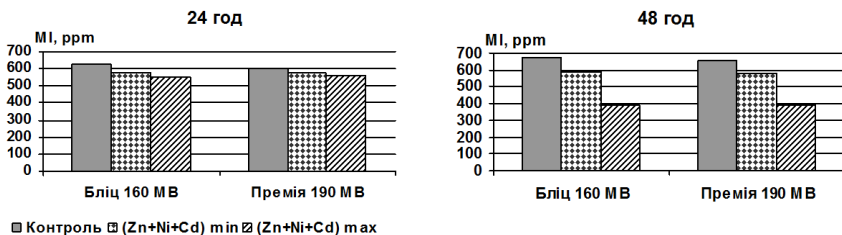


Рис. 1. Мітотичний індекс (МІ) клітин апікальних меристем коренів проростків *Z. mays* за сумісної дії іонів Zn, Ni і Cd в мінімальних (10^{-6} М) і максимальних (10^{-5} М) концентраціях, ‰ — проміле

Figure 1. Mitotic index (MI) of cells of apical meristems of roots *Z. mays* seedlings under the combined action of Zn, Ni and Cd ions in minimum (10^{-6} M) and maximum (10^{-5} M) concentrations, ‰ — ppm

У кореневих меристемах проростків *Z. mays*, що піддавались дії суміші іонів цинку, нікелю та кадмію, нами зареєстрований цілий спектр хромосомних аномалій (табл. 2). Так, протягом усього періоду проростання як мінімальні, так і максимальні концентрації токсикантів, крім згаданих вище патологій мітозу, індукували аглютинацію і випередження хромосом, а також утворення багатополосності, бродячих хромосом і хромосомних фрагментів. Це, імовірно, відбувається внаслідок пошкодження мітотичного апарату шляхом порушення роботи веретена поділу в анафазі, обумовленого зв'язуванням іона металу з SH-групою білка мікротрубочок тубуліна [1].

Загалом, у процентному співвідношенні, серед хромосомних аберацій, викликаних сумісною дією кадмію, нікелю та цинку, найпоширенішими були відставання хромосом (понад 75% від загальної кількості патологій мітозу), одинарні мости (8,8%), випередження (2,5%) та багатополосність (2,0%). Імовірніше, установлені хромосомні аномалії виникають у результаті цитотоксичної дії на рослини кукурудзи саме іонів кадмію та нікелю, яка пов'язана з їх безпосереднім

впливом на структуру та функції ДНК за умови взаємодії металу з гістоновими білками хроматину, які контролюють організацію хромосом [13, 28].

Таблиця 2. Спектр і частка цитогенетичних аномалій в апікальних меристемах коренів проростків *Z. mays* гібриду Бліц 160 МВ за сумісної дії іонів Zn, Ni і Cd, % від загальної кількості аберацій

Table 2. The spectrum and proportion of cytogenetic abnormalities in the apical meristems of the roots of *Z. mays* seedlings of the hybrid Blitz 160 BS with the combined action of Zn, Ni and Cd ions, % of the total number of aberrations

Показник	Контроль, M ± m	Zn+Ni+Cd мін конц., M ± m	Zn+Ni+Cd маж конц., M ± m
24 години			
Фрагменти	–	0,060 ± 0,003*	0,180 ± 0,002*
Випередження	–	0,080 ± 0,001*	0,150 ± 0,001*
Відставання	0,700 ± 0,001	4,50 ± 0,010*	5,20 ± 0,011*
Багатополосність	0,009 ± 0,0004	0,018 ± 0,001*	0,070 ± 0,001*
Одинарні мости	0,050 ± 0,002	0,490 ± 0,005*	0,550 ± 0,003*
Множинні мости	0,051 ± 0,005	0,098 ± 0,001*	0,130 ± 0,004*
Аглютинація	–	0,010 ± 0,002*	0,040 ± 0,001*
Дезорієнтація хромосоми			
Загальна кількість аберацій мітозу	0,800 ± 0,002	5,256 ± 0,003	6,320 ± 0,005
Індекс аберацій	1,3 ± 0,03	7,5 ± 0,01	9,0 ± 0,01
48 годин			
Фрагменти	0,020 ± 0,001	0,100 ± 0,002*	0,220 ± 0,003*
Випередження		0,100 ± 0,002*	0,200 ± 0,002*
Відставання	1,00 ± 0,005	4,30 ± 0,015*	5,50 ± 0,011*
Багатополосність	0,011 ± 0,001	0,023 ± 0,001*	0,110 ± 0,002*
Одинарні мости	0,070 ± 0,002	0,500 ± 0,002*	0,630 ± 0,005*
Множинні мости	0,053 ± 0,003	0,120 ± 0,001*	0,146 ± 0,001*
Аглютинація		0,014 ± 0,001*	0,055 ± 0,001*
Дезорієнтація хромосоми			0,001 ± 0,0001*

Продовження табл. 2

Загальна кількість аберацій мітозу	1, 154 ± 0, 002	5, 157 ± 0, 002	6, 862 ± 0, 003
Індекс аберацій	1, 9 ± 0, 02	7, 4 ± 0, 01	9, 8 ± 0, 02

Примітки: – — аномалію не виявлено; * — розбіжності достовірні відносно контролю за критерієм Стьюдента за $\rho < 0, 05$; % вираховані з 5000 клітин

Як видно з таблиці 2, у мітотичних клітинах коренів *Z. mays* кількість відстаючих хромосом уже за дії мінімальних концентрацій токсикантів в інкубаційному середовищі зростала в 4,5 раза, а за дії високих концентрацій цинку, нікелю та кадмію перевищувала контрольні рівні в понад 6 разів. Поява клітин із відстаючими хромосомами, очевидно, пов'язана з порушенням організації клітинних центрів поділу, дефектами веретена поділу чи центромерного району у процесі мітозу [8, 28]. На думку Р.А. Якимчук [27], відставання хромосом є індикаторами аномалій мітозу та свідчать про анеугенну дію важких металів на рослини.

На другому місці за частотою зустрічання в кореневих меристемах гібриду Бліц 160 МВ знаходилися клітини з поодинокими мостами, які, напевно, утворюються за рахунок розривів хромосом, адгезивності хромосом чи хроматид, і подальшого порушення вільного анафазного поділу внаслідок нерівномірної транслокації або інверсії хромосомних сегментів [2, 18]. Як показано в таблиці 2, кількість одинарних мостів уже через 24 год. інкубації на сердовиці зі вмістом важких металів зростала від 9,8 до 11 разів залежно від концентрації токсикантів. Із часом, вочевидь за рахунок внутрішніх репараційних систем меристематичних клітин, цитотоксичний вплив суміші кадмію, нікелю та цинку дещо елімінувався, а темпи утворення одинарних мостів зменшувалися (перевищували контрольні показники лише у 7 і 9 разів за мінімальних та максимальних концентрацій відповідно).

Рівень множинних мостів у клітинах проростків *Z. mays* за поліметалічного впливу виявився нижчим, ніж поодиноких мостів (табл. 2). Їх частка від загальної кількості аберацій коливалася в межах від 0,098% до 0,146% і не перевищувала показники контролю на обох етапах дослідження більш ніж у 2 рази. Зауважимо, що відставання хромосом і мости в анафазі мітозу були загальною тенденцією у рослин, які зростали в місцях забруднених надмірним умістом кадмію, плумбуму та цинку [18, 29].

Спектр цитогенетичних порушень за сумісної дії цинку, нікелю та кадмію розширювався також за рахунок клітин із випередженням хромосом (табл. 2), які є досить розповсюдженими серед аберацій, викликаних дією важких металів. Із часом інкубації цитотоксична дія важких металів посилювалася, а частка випереджень хромосом зросла у 1,3 рази порівняно з попереднім етапом дослідження.

Фрагментація хромосом є ознакою пошкодження їх структури, пов'язаного з лізисом молекул ДНК, і вказує на нестабільність генома. Цей різновид хромосомних аберацій може виникати внаслідок адгезивності хромосом, яка викликана взаємодією іонів важких металів із гістоновими та негістоновими білками, що, зі свого боку, порушує здатність хроматид переміщуватися в напрямку полюсів [28], а також унаслідок розривів ланцюгу ДНК активними формами кисню [22, 25]. Слід зазначити, що мости і фрагменти вважають кластогенними ефектами [16, 18]. У нашому дослідженні за наявності мінімального вмісту суміші важких металів у середовищі вирощування серед цитогенетичних порушень у клітинах коренів проростків кукурудзи було виявлено фрагменти хромосом, переважно одиничні й парні ацентричні (табл. 2), які фіксувалися з частотою від 0,06% до 0,12% залежно від часу експозиції. Високі концентрації іонів металів індукували збільшення їх кількості у понад 2 рази.

Аглотинацію (злипання хромосом) також відносять до аберацій хроматидного типу, що виникає в результаті пошкодження молекул ДНК (деполімеризації чи конденсації) [22]. Присутність кадмію, нікелю та цинку в середовищі вирощування в кореневих меристемах *Z. mays* призводила до появи в мітозі клітин з аглотинацією хромосом, частота зустрічання яких за дії мінімальних концентрацій іонів металів на всіх етапах дослідження складала 0,010–0,015% (табл. 2). Натомість у варіантах зі вмістом токсикантів у середовищі вирощування в максимальних концентраціях проявлявся вищий генотоксичний ефект. Причому темпи утворення аглотинованих хромосом зростали в понад 3,5 рази порівняно з попереднім етапом дослідження. На нашу думку, це може бути пов'язане з активною денатурацією ядерних білків (наприклад, ДНК-топоізомераза II) іонами нікелю та кадмію, що перешкоджає сегрегації хромосом, як показано в коренях *Capsicum annuum* за дії багатьох відомих важких металів [2]. Однак можливе й інше пояснення.

Висновки. Підсумовуючи зазначимо, що встановлене нами загальне зниження мітотичного індексу та широкий спектр хромосомних аберацій в апікальній меристемі коренів кукурудзи

гібриду Бліц 160 МВ указують на те, що важкі метали за сумісної дії є кластогенними та впливають на хромосоми на рівні ДНК. За наявності іонів цинку, нікелю та кадмію в середовищі вирощування у кореневих меристемах проростків встановлено збільшення частки клітин, які знаходяться на стадії профази та метафази. Водночас відсоток анафазних клітин дещо знижувався (на 15–20% до контролю), а частота трапляння телофазних клітин зменшувалася у 1,2 і 1,5 разів відносно контрольних умов за дії мінімальних і максимальних концентрацій токсикантів відповідно. Крім того, у варіантах із вмістом важких металів у понад 5 разів, порівняно з контролем, збільшувалася кількість аберантних клітин у коренях. Спектр цитогенетичних порушень складала аномалії, обумовлені пошкодженням хромосом (одинарні та множинні мости, аглютинація хромосом) й аномалії, обумовлені пошкодженням мітотичного апарату (відставання та випередження хромосом, дезорієнтовані хромосоми, фрагменти хромосом та багатополусні мітози). Найпоширенішими серед хромосомних аберацій у гібриду кукурудзи були відставання хромосом (понад 75% від загальної кількості патологій мітозу), одинарні мости (8,8%), випередження хромосом (2,5%) та багатополусність (2,0%).

References

1. Abdel Migit, H. M. A., Azab, Y. A., & Ibrahim, W. M. (2007). Use of plant genotoxicity bioassay for the evaluation of efficiency of algal biofilters in bioremediation of toxic industrial effluent. *Ecotoxicol. and Environ. Safety*, 66, 57–64.
2. Aslam, R., Bhat, T. M., Choudhary, S., & Ansari, M. Y. K. (2017). An overview on genotoxicity of heavy metal in a spice crop (*Capsicum annuum* L.) in respect to cyto-morphological behavior. *Caryologia: International Journal of Cytology, Cytosystematics and Cytogenetics*, 70, 42–47. <https://doi.org/10.1080/00087114.2016.1258884>
3. Bannon, D. I., Drexler, J. W., & Fent, G. M., et al. (2009). Evaluation of small arms range soils for metal contamination and lead bioavailability. *Environ. Sci. Technol.*, 43, 9071–9076. <https://doi.org/10.1021/es901834h>
4. Belousov, M. V., & Mashkina, O. S. (2015). Vliyaniye nikelya i kadmiya na tsitogeneticheskiye pokazateli *Pinus sylvestris* L. [Cytogenetic response of scots pine (*Pinus sylvestris* L.) to cadmium and nickel]. *Cytology*, 57 (6), 459–464. (in Russian).

5. Belykh, E. S., & Maystrenko, T. A. (2015). Tsitologicheskiye efekty u rasteniy *Allium schoenopranum* proizrastayushchikh na tekhnogenno zagryaznennoy pochve [Cytological effects in *Allium schoenopranum* plants growing on technogenically contaminated soil]. *Radiation biology. Radioecology*, 55 (1), 5–15. (in Russian).
6. Bohuslavskaya, L. V., Shupranova, L. V., & Vinnychenko, O. M. (2009). Tsytohenetychna aktyvnist merystematychnykh klityn koreniv roslyn kukurudzy za rozdilnoyi ta sumisnoyi diyi ioniv vazhkykh metaliv [The cytogenetic activity of meristeme of root cells of plants mays for separately and combination of influence ions heavy metals]. *Bulletin of the Ukrainian Society of Geneticists and Breeders*, 7 (1), 10–16. (in Ukrainian).
7. Chakravarty, B., & Srivastava, S. (1992). Toxicity of some heavy metals in vivo and in vitro in *Helianthus annuus*. *Mutat. Res.*, 283, 287–294. [https://doi.org/10.1016/0165-7992\(92\)90061-L](https://doi.org/10.1016/0165-7992(92)90061-L)
8. Compton, D. A. (2011). Mechanisms of Aneuploidy. *Current Opinion in Cell Biology*, 23 (1), 109–113. <https://doi.org/10.1016/j.ceb.2010.08.007>
9. Dovhalyuk, A. (2013). Zabrudnennya dovkillya toksychnymy metalamy ta yoho indykatsiya za dopomohoyu roslynnykh testovykh system [Environmental contamination by toxic metals and its indication by plant test systems]. *Studia Biologica*, 7 (1), 197–204. (in Ukrainian).
10. Fuchs, L. K., Jenkins, G., & Phillips, D. W. (2018). Anthropogenic Impacts on Meiosis in Plants. *Front. Plant Sci.*, 9, 1429. <https://doi.org/10.3389/fpls.2018.01429>
11. Gichner, T., Patkova, Z., Szakova, J., & Demnerova, K. (2006). Toxicity and DNA damage in tobacco and potato plants growing on soil polluted with heavy metals. *Ecotoxicol. Environ. Saf.*, 65, 420–426. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2005.08.006>
12. Hautier, Y., Tilman, D., & Isbell, F., et al. (2015). Anthropogenic environmental changes affect ecosystem stability via biodiversity. *Science*, 348, 336–340. <https://doi.org/10.1126/science.aaa1788>
13. Khan, S., Anas, M., & Malik, A. (2019). Mutagenicity and genotoxicity evaluation of textile industry wastewater using bacterial and plant bioassays. *Toxicology Reports*, 6, 193–201. <https://doi.org/10.1016/j.toxrep.2019.02.002>
14. Kulaeva, O. A., Gribchenko, E. S., & Zorin, E. A., et al. (2018). Sravnitel'nyy analiz ekspressii genov, svyazannykh so stressom, u

- dvukh liniy gorokha, kontrastnykh po priznaku ustoychivosti k kadmiyu [Comparative analysis of the expression of stress-related genes in two pea genotypes contrasting in tolerance to cadmium]. *Ecological genetics*, 16 (4), 75–84. <https://doi.org/10.17816/ecogen16475-84> (in Russian).
15. Kumar, G., & Rai, P. (2007). Comparative Genotoxic Potential of Mercury and Cadmium in Soybean. *Turk. J. Biol.*, 31, 13–18.
 16. Kumar, G., & Srivastava, A. (2015). Clastogenic and mito-inhibitory effect of heavy metals in root meristems of *Vicia faba*. *Chromosome Botany*, 10 (1), 23–29. <https://doi.org/10.3199/iscb.10.23>
 17. Mittal, N., & Srivastava, A. K. (2014). Cadmium and chromium induced aberrations in the reproductive biology of *Hordeum vulgare*. *Cytologia*, 79, 207–214. <https://doi.org/10.1508/cytologia.79.207>
 18. Olorunfemia, D., Durub, E., & Okieimen, F. (2012). Induction of chromosome aberrations in *Allium cepa* L. root tips on exposure to ballast water. *Caryologia: International Journal of Cytology, Cytosystematics and Cytogenetics*, 65 (2), 147–151. <https://doi.org/10.1080/00087114.2012.711676>
 19. Pausheva, Z. P. (1980). Praktikum po fiziologii rasteniy [Workshop on plant physiology]. “Kolos”, Moskow, 255. (in Russian).
 20. Pavlyukova, N., & Bohuslavska, L. (2015). Proliferatyvna aktyvnist tvirnykh tkanyn koreniv kukurudzy za diyi herbitydy ta hipertermiyi [Proliferative activity of maize roots meristems under the action of herbicides and hyperthermia]. *Visnyk of the Lviv University. Series Biology*, 70, 266–270. (in Ukrainian)
 21. Ritambhara, T., & Kumar, G. (2010). Genetic loss through heavy metal induced chromosomal stickiness in Grass pea. *Caryologia*, 63 (3), 223–228.
 22. Siddiqui, S. (2015). DNA damage in *Cicer* plant grown on soil polluted with heavy metals. *Journal of King Saud University. Science*, 27, 217–223. <https://doi.org/10.1016/j.jksus.2015.02.004>
 23. Shen, Y., Zhang, Y., & Chen, J., et al. (2013). Genome expression profile analysis reveals important transcripts in maize roots responding to the stress of heavy metal Pb. *Physiol. Plant*, 147, 270–282. <https://doi.org/10.1111/j.1399-3054.2012.01670.x>
 24. Siddiqui, S., Meghvansi, M. K., Wani, M. A., & Jabee, F. (2009). Evaluating cadmium toxicity to the root meristem of *Pisum sativum* L. *Acta Physiol. Plant*, 31, 531–536.

25. Srivastava, V., Sarkar, A., & Singh, S., et al. (2017). Agroecological Responses of Heavy Metal Pollution with Special Emphasis on Soil Health and Plant Performances. *Front. Environ. Sci.*, 5 (64), 19. <https://doi.org/10.3389/fenvs.2017.00064>
26. Xian, Y., Wang, M., & Chen, W. (2015). Quantitative assessment on soil enzyme activities of heavy metal contaminated soils with various soil properties. *Chemosphere*, 139, 604–608. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2014.12.060>
27. Yakymchuk, R. A. (2015). Tsytohenetychna otsinka mutahennoho vplyvu na korenevu merystemu *Triticum aestivum* zabrudnen terytoriy, prylehlykh do teplovykh elektrostantsiy [Cytogenetic evaluation of mutagenic effects on a root meristem of *Triticum aestivum* contamination of the territories adjacent to steam power plants]. *Bulletin of Kharkiv National Agrarian University. Biology series*, 1 (34), 62–70. (in Ukrainian).
28. Yakymchuk, R. A. (2018). Cytogenetic disorders in *Triticum aestivum* L. cells, induced by heavy metal releases from industrial production. *Ukrainian Journal of Ecology*, 8 (1), 317–323. https://doi.org/10.15421/2018_217
29. Yildiz, M., Cigerci, I. H., & Konuk, M., et al. (2009). Determination of genotoxic effects of copper sulphate and cobalt chloride in *Allium cepa* root cells by chromosome aberration and comet assays. *Chemosphere*, 75 (7), 934–938.
30. Zhang, Y., & Yang, X. (1994). The toxic effects of cadmium on cell division and chromosomal morphology of *Hordeum vulgare*. *Mutation Research. Environmental Mutagenesis and Related Subjects*, 312 (2), 121–126. [https://doi.org/10.1016/0165-1161\(94\)90016-7](https://doi.org/10.1016/0165-1161(94)90016-7)

**ANALYSIS OF MUTAGENESIS IN APICAL MERISTEMS
OF ROOTS *Zea mays* L. (POACEAE)
INDUCED BY COMBINED ACTION THE IONS
OF CADMIUM, NICKEL AND ZINC**

O. M. Zubrovska

Kryvyi Rih Botanical Garden of the NAS of Ukraine, Kryvyi Rih, Ukraine

Abstract. The paper presents the results of the carried out cytological analysis of apical meristems of the corn roots of the Blitz 160 MB hybrid in the presence of zinc, nickel and cadmium ions in the growing medium. It was found that the combined action of heavy metal ions, first of all, caused a

general decrease in the mitotic index and an increase in the proportion of cells at the prophase and metaphase stages in the meristematic cells of *Z. mays* seedlings. In contrast, the percentage of anaphase cells decreased by 15–20%, and the percentage of telophase cells decreased by 1.2–1.5 times relative to the control conditions, respectively. In the spectrum of cytogenetic disorders caused by the action of heavy metals in the roots of the BlitZ 160 MB corn hybrid, anomalies caused by damage to chromosomes (single and multiple bridges, agglutination of chromosomes) and anomalies caused by damage to the mitotic apparatus (lagging and advancing chromosomes, disoriented chromosomes, fragments chromosomes and multipolar mitoses). Compared to the control, the presence of cadmium, zinc and nickel ions in the growing medium at both minimum and maximum concentrations had a high cytotoxic effect and induced an increase in the number of aberrant cells in the meristems of corn roots by more than 5 times. In general, among chromosomal aberrations, the most common were lagging chromosomes (more than 75% of the total number of mitotic pathologies), single bridges (8.8%), premature chromosome movement (2.5%) and multipolarity (2.0%). In addition, the combined action of metal ions induced the formation of abnormalities such as agglutination, disoriented chromosomes, and the formation of chromosome fragments. The general decrease in the mitotic index and a wide range of chromosomal aberrations established by us indicate that heavy metals, when they act together, are clastogenic and affect chromosomes at the DNA level. And the high cytogenetic activity of cadmium, zinc and nickel ions shown by us confirms the genetic danger of industrial emissions with the content of heavy metal ions for organisms in ecosystems and provides for the need to develop a national program for large-scale genetic monitoring of technogenic pollution of Ukrainian territories.

Key words: cadmium, zinc, nickel, *Zea mays*, mitosis, chromosomal aberrations, cytogenetic disorders.

Citation as:

Zubrovska, O.M. (2021). Analiz mutahenezu v apikalnykh merystemakh koreniv *Zea mays* L. (Poaceae) indukovanoho sumisnoiu diieiu ioniv kadmiiu, nikeliu i tsynku [Analysis of mutagenesis in apical meristems of roots *Zea mays* L. (Poaceae) induced by combined action the ions of cadmium, nickel and zinc]. *Ekolohichnyi visnyk Kryvorizhzhia [Ecological Bulletin of Kryvyi Rih District]*, 6, 92–105. <https://doi.org/10.31812/eco-bulletin-krd.v6i0>.

**ДСТУ
8302:2015**

Зубровська О.М. Аналіз мутагенезу в апікальних меристемах коренів *Zea mays* L. (Poaceae) індукованого сумісною дією іонів кадмію, нікелю і цинку. *Екологічний Вісник Криворіжжя*. 2021. Вип. 6. С. 92–105.

ЕКОЛОГІЧНА СТРУКТУРА РОСЛИННИХ УГРУПОВАНЬ КРИВОРІЗЬКОГО УРБОПРОМИСЛОВОГО КОМПЛЕКСУ

І. О. Комарова*, Е. О. Євтушенко

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

Анотація. У складі рослинних угруповань дослідних ділянок виявлено 74 види, що належать до 63 родів і 22 родин. Найбільш часто зустрічаються представники таких родин, як Asteraceae, Fabaceae, Brassicaceae, Poaceae, Rosaceae, Apiaceae, Plantaginaceae, Salicaceae.

Екологічний аналіз рослинних угруповань за принципами, розробленими О. Л. Бельгардом (1960) з використанням видання «Екофлора України», дозволив установити, що у складі рослинних угруповань Криворізького урбопромислового комплексу переважають рудеранти (51,27% від загальної кількості видів) та степанти (21,61%). Серед життєвих форм за класифікацією Х. Раункієра (1934) найчисельнішими є гемікриптофіти (50% від загальної кількості видів) і терофіти (25,9%), фанерофітів і хамефітів — найменша кількість по 11,4% і 12,7% відповідно. За пристосуванням до водного режиму більше ксеромезофітів (53% від загальної кількості рослин) та мезоксерофітів (29,4%), а за пристосуванням до умов освітлення і трофності ґрунту — відповідно геліофітів (55,0%) і мезотрофів (60,6%).

Чисельність геліофітів (55,0% від загальної кількості видів) є найбільшою серед геліоморф усіх дослідних ділянок. Необхідно зауважити, що на всіх дослідних ділянках відсутні сціофіти, які потребують до 30% повного освітлення. Серед трофоморф найчисельнішими є мезотрофи (60,6% від загальної кількості видів), а мегатрофи й оліготрофи представлені в рівній кількості, а саме — по 19%. Це свідчить про середню трофність субстратів і ґрунтів дослідних ділянок.

Установлено, що найчисельнішими екоморфами у складі фітоценозів дослідних ділянок із різним рівнем забруднення є рудеранти, гемікриптофіти, ксеромезофіти, геліофіти і мезотрофи. Стабільною присутністю в угрупованнях вирізняються степанти, сільванти, терофіти, мезофіти, мегатрофи й оліготрофи.

Ключові слова: рослинні угруповання, техногенне забруднення, гірничо-металургійний регіон, стійкість.

Вступ. Діяльність промислових підприємств призводить до деградації біогеоценотичного покриву або його докорінної трансформації [3]. Особливо негативний вплив на стан рослинного

покриву й довкілля мають гірничо-металургійні підприємства, серед яких на території міста Кривий Ріг найбільш потужними забруднювачами є п'ять гірничо-збагачувальних комбінатів (ГЗК) і металургійний комбінат «АрселорМіттал Кривий Ріг» [1].

На території комбінатів, у місцях видобутку та переробки корисних копалин, формуються техногенні ландшафти, різновидом яких є промислові ландшафти. У їхніх межах виділяються промислові майданчики, які не здатні до саморегуляції, самопідтримання та самовідтворення [1, 2, 10].

Недосконалість технологічних процесів подрібнення руди, утворення, окрім відвалів, хвостосховищ, у межах яких знаходиться близько 2,5 млрд. т шламів на площі 7,1 тис. га, призводить до різкого збільшення вмісту пилу з домішками важких металів у приземному шарі повітря промайданчиків комбінатів і прилеглих до них селітебних територій [4].

Середньомісячні концентрації шкідливих речовин в атмосфері міста перевищують гранично допустимі концентрації (ГДК) за пилом у 2,7 рази, за двооксидом азоту — у 2,5 рази, за фенолом — у 2 рази, за аміаком — у 4 рази, за формальдегідом — у 3,8 рази [1, 7]. Загальні викиди забруднюючих речовин в атмосферу міста становлять близько 600 тис. т, серед яких 490,5 тис. т припадає на долю газоподібних речовин і 86,6 тис. т пилу. Зазначимо, що близько 7% валових викидів складають відпрацьовані гази автомобільного транспорту. За даними В. М. Артюха, найбільша інтенсивність осідання пилу (160,0 т/рік) — у виробничій зоні промислового майданчика ПАТ «Північний гірничо-збагачувальний комбінат» (ПівнГЗК). Водночас значна кількість пилу — близько 31 т/рік — осідає на відстані 250 м, у санітарно-захисній зоні підприємства [1].

На території промайданчиків комбінатів і прилеглих селітебних територій докорінно змінені всі компоненти природного середовища, формуються специфічні, збіднені та менш стійкі рослинні угруповання зі спрощеною екологічною структурою.

Зважаючи на вищезазначене, одним із завдань досліджень було з'ясування еколого-таксономічного складу рослинних угруповань промайданчиків і селітебної території Криворізького урбопромислового комплексу.

Мета дослідження — порівняльний аналіз таксономічного й екологічного складу рослинних угруповань у межах дослідних ділянок Криворізького урбопромислового комплексу.

Матеріали та методи. Вивчення рослинного покриву проводили за загальноприйнятими геоботанічними (метод пробних ділянок), екологічними (метод екоморфічного аналізу рослинності О. Л. Бельгарда, 1950) методиками. Результати опрацьовували математично. Частку видів у рослинних угрупованнях оцінювали за шкалою Браун-Бланке (1985). Назви судинних рослин наводяться за зведенням С. Л. Мосякіна та М. М. Федорончука (1999) з деякими уточненнями за С. К. Черепановим (1995). Вивчення ґрунтів проводили в попередніх дослідженнях [5, 8, 9] із застосуванням хіміко-аналітичних методів.

Результати та обговорення. Район досліджень належить до складу степової зони України, її північної степової підзони Дністровсько-Дніпропетровського північно-степового краю схилово-височинної області [1, 6]. Згідно зі схемою кліматичного районування Б. П. Алісова (1969), Криворізький регіон належить до атлантико-континентальної європейської недостатньо вологої, теплої області помірної кліматичної зони. Річні показники сумарної сонячної радіації становлять 107–110 ккал/см, радіаційного балансу — 46–49 ккал/см.

Середнє альbedo території в межах Кривого Рогу достатньо високе влітку (30%) і знижене взимку (35%). Над територією міста сформувався своєрідний мікроклімат «острова тепла». У місті тепліше на 1,8°C. Особливо це помітно в холодний період року, що вирізняється великою кількістю опадів і туманів. Часто з низьких хмар і пилогазових викидів підприємств та автомобілів взимку утворюються смоги.

Рослинний покрив на території м. Кривий Ріг визначається наступними чинниками [6, 10]:

- 1) відторгненням родючих земель під гірничі відводи (копальні, кар'єри, шахти, відвали, шламосховища і т. д.);
- 2) порушенням природних гідрогеологічних режимів підземних і поверхневих водотоків, зневодненням великих територій, підтопленням великих площ, засоленням ґрунтів, погіршенням якості питних, ґрунтових і відкачуваних вод та ін.;
- 3) запиленням, загазованістю повітряного басейну та потраплянням у сферу життя людини (у води, ґрунти, повітря) шкідливих хімічних сполук важких металів, сірки, азоту, вуглеводню, оксидів заліза, кремнію та ін.

За геоботанічним районуванням України, територія Криворізького залізорудного басейну належить до Євразійської степової області,

Понтично-степової провінції, Чорноморсько-Азовської підпровінції, Бузько-Дніпровських (Криворізьких) різнотравно-злакових степів, байрачних лісів і рослинності гранітних відслонень геоботанічного округу, Софіївсько-Марганецького геоботанічного району [6].

Для дослідження було обрано 4 ділянки, які розташовані в межах промайданчиків комбінатів і селітебної території міста.

Таблиця 1. Таксономічний склад рослинних угруповань дослідних ділянок

Table 1. Taxonomic composition of plant groups of research sites

№ з\п	Родина	Види рослин	Дослідні ділянки			
			1	2	3	4
1	Aceraceae	<i>Acer negundo</i>	+	+	+	
2	Aceraceae	<i>Acer pseudoplatanus</i>			+	
3	Aceraceae	<i>Acer tataricum</i>			+	
4	Asteraceae	<i>Achillea millefolium</i>	+	+		+
5	Sapindaceae	<i>Aesculus hippocastanum</i>		+		
6	Asteraceae	<i>Ambrosia artemisiifolia</i>	+	+		+
7	Rosaceae	<i>Agrimonia eupatoria</i>			+	
8	Asteraceae	<i>Arctium tomentosum</i>	+			
9	Rosaceae	<i>Armeniaca vulgaris</i>	+			
10	Asteraceae	<i>Artemisia absinthium</i>	+	+		
11	Caryophyllaceae	<i>Arenaria uralensis</i>				+
12	Boraginaceae	<i>Asperugo procumbens</i>			+	+
13	Lamiaceae	<i>Ajuga genevensis</i>				+
14	Poaceae	<i>Bromopsis inermis</i>	+			
15	Boraginaceae	<i>Buglossoides arvensis</i>		+		
16	Brassicaceae	<i>Capsella bursa-pastoris</i>	+	+		+
17	Brassicaceae	<i>Cardaria draba</i>	+	+		
18	Asteraceae	<i>Carduus acanthoides</i>	+			+
19	Asteraceae	<i>Crepis rhoeadifolia</i>	+	+		
20	Asteraceae	<i>Centaurea diffusa</i>		+		
21	Papaveraceae	<i>Chelidonium majus</i>	+			
22	Asteraceae	<i>Cichorium intybus</i>	+			
23	Asteraceae	<i>Cirsium setosum</i>	+			
24	Convolvulaceae	<i>Convolvulus arvensis</i>	+	+		+
25	Brassicaceae	<i>Diplotaxis muralis</i>				+

Продовження табл. 1

26	Poaceae	<i>Elytrigia repens</i>	+	+		+
27	Euphorbiaceae	<i>Euphorbia virgultosa</i>	+	+		+
28	Apiaceae	<i>Falcaria vulgaris</i>	+			+
29	Fumariaceae	<i>Fumaria schleicheri</i>	+	+	+	
30	Rubiaceae	<i>Galium aparine</i>	+	+		
31	Rosaceae	<i>Geum urbanum</i>			+	
32	Apiaceae	<i>Heracleum sibiricum</i>	+			
33	Asteraceae	<i>Hieracium viosum</i>	+			
34	Lamiaceae	<i>Lamium amplexicaule</i>	+			+
35	Fabaceae	<i>Lathyrus tuberosus</i>	+	+		+
36	Fabaceae	<i>Lotus ucrainicus</i>		+		
37	Plantaginaceae	<i>Linaria biebersteinii</i>	+			+
38	Asteraceae	<i>Lactuca tatarica</i>				+
39	Plantaginaceae	<i>Linaria genistifolia</i>	+			
40	Fabaceae	<i>Melilotus officinalis</i>	+			
41	Fabaceae	<i>Medicago lupulina</i>		+		+
42	Fabaceae	<i>Medicago sativa</i>				+
43	Brassicaceae	<i>Microthlaspi perfoliatum</i>				+
44	Boraginaceae	<i>Nonea rossica</i>		+		+
45	Asteraceae	<i>Onopordum acanthium</i>	+			
46	Plantaginaceae	<i>Plantago lanceolata</i>		+		+
47	Poaceae	<i>Poa angustifolia</i>	+	+	+	+
48	Poaceae	<i>Poa bulbosa</i>			+	+
49	Poaceae	<i>Poa compressa</i>			+	
50	Polygonaceae	<i>Polygonum aviculare</i>				+
51	Salicaceae	<i>Populus alba</i>		+		
52	Salicaceae	<i>Populus nigra</i>		+		
53	Rosaceae	<i>Potentilla impolita</i>				+
54	Brassicaceae	<i>Reseda lutea</i>				+
55	Rosaceae	<i>Rosa corymbifera</i>		+		
56	Brassicaceae	<i>Rorippa sylvestris</i>				+
57	Asteraceae	<i>Sonchus arvensis</i>		+		
58	Asteraceae	<i>Senecio jacobaea</i>		+		+
59	Fabaceae	<i>Securigera varia</i>	+			
60	Asteraceae	<i>Senecio vernalis</i>	+	+		
61	Apiaceae	<i>Seseli tortuosum</i>	+			

Продовження табл. 1

62	Caryophyllaceae	<i>Stellaria media</i>		+	+	
63	Asteraceae	<i>Sonchus oleraceus</i>	+			
64	Asteraceae	<i>Tragopogon major</i>				+
65	Asteraceae	<i>Taraxacum officinale</i>	+	+	+	+
66	Fabaceae	<i>Trifolium repens</i>		+		
67	Malvaceae	<i>Tilia cordata</i>		+		
68	Brassicaceae	<i>Thlaspi perfoliatum</i>	+			
69	Ulmaceae	<i>Ulmus minor</i>	+			
70	Ulmaceae	<i>Ulmus pumila</i>	+	+		+
71	Violaceae	<i>Viola hirta</i>	+		+	
72	Plantaginaceae	<i>Veronica dillenii</i>		+		
73	Fabaceae	<i>Vicia cracca</i>				+
74	Fabaceae	<i>Vicia tenuifolia</i>		+		
Загальна кількість видів			38	34	13	32

Ділянки мають наступні геоботанічні характеристики [4, 5, 7–9] (табл. 1):

Дослідна ділянка № 1. Металургійний район, ПАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг». Газон у санітарно-захисній зоні доменної печі № 9. Загальне проективне покриття травостою — 85%. Ґрунтовий покрив представлений техноземами з умістом гумусу — 2,15% і рН водної витяжки — 8,47.

Дослідна ділянка № 2. Металургійний район, газон поблизу прохідної до прокатних станів ПАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг». Загальне проективне покриття травостою — 75%. Ґрунтовий покрив представлений техноземами з такою агрохімічною характеристикою: вміст гумусу — 2,35%; рН водної витяжки — 8,67.

Дослідна ділянка № 3. Саксаганський район, вул. Мелешкіна. Газон поблизу спортивного комплексу «Ескоріал». Загальне проективне покриття травостою — 75%. Поодинокі зустрічаються сходи *Ulmus pumila* L. (r). Рельєф місцевості рівнинний. Ґрунтовий покрив представлений чорноземом звичайним малогумусним із такою агрохімічною характеристикою: вміст гумусу — 2,15%; рН водної витяжки — 8,22.

Дослідна ділянка № 4. Саксаганський район, вул. Рязанова. Газон поблизу входу до терапевтичного відділення міської лікарні № 1. Загальне проективне покриття травостою — 65%. Рельєф місцевості рівнинний. По краю ценозу спостерігали парость *Acer negundo* L. (r),

Acer tataricum L. (r). Ґрунтовий покрив представлений чорноземом звичайним малогумусним із такою агрохімічною характеристикою: вміст гумусу — 1,95%; рН водної витяжки — 8,32.

Таксономічна структура відбиває умови формування рослинного покриву. У складі рослинних угруповань дослідних ділянок виявлено 74 види, що належать до 63 родів і 22 родин (табл. 1). В угрупованнях рослин переважають види родини Asteraceae: *Achillea millefolium* L., *Ambrosia artemisiifolia* L., *Artemisia absinthium* L., *Hieracium virosum* L., *Senecio vernalis* L., *Taraxacum officinale* Wigg., *Tripleurospermum perforatum* (L.) W.D.J. Koch. Частка цих видів у загальному проєктивному покритті становить від 20% до 90%.

Високий рівень трапляння (80–100%) мають види *Achillea millefolium* L. (Asteraceae), *Artemisia absinthium* L. (Asteraceae), *Taraxacum officinale* Wigg. (Asteraceae), *Tripleurospermum perforatum* (L.) W.D.J. Koch (Asteraceae), *Capsella bursa-pastoris* L. (Brassicaceae), *Cardaria draba* L. (Brassicaceae), *Convolvulus arvensis* L. (Convolvulaceae), *Lathyrus tuberosus* L. (Fabaceae), *Trifolium repens* L. (Fabaceae), *Fumaria schleicheri* L. (Fumariaceae), *Plantago lanceolata* L. (Plantaginaceae), *Elytrigia repens* L. (Poaceae), *Poa angustifolia* L. (Poaceae), *Poa bulbosa* L. (Poaceae).

Склад родин, що присутні на всіх обстежених ділянках і мають найбільшу кількість видів є таким: Asteraceae, Fabaceae, Brassicaceae, Poaceae, Rosaceae, Apiaceae, Plantaginaceae, Salicaceae. Зустрічаються родини, які представлені лише одним видом, але їх незначна кількість (5 таксонів). Крім трав'янистих видів, виявлено також деревні види: *Armeniaca vulgaris* Lam., *Ulmus minor* Mill. (Ulmaceae), *Acer negundo* L. (Aceraceae), *Populus alba* L. та *Populus nigra* L. (Salicaceae).

Як правило, вони розташовані по краю ценозу, не численні та не здійснюють значного його затінення.

Найбільш чисельні за видовим складом угруповання наступних дослідних ділянок (рис. 1): № 1 — 38 видів (51,3% від загальної кількості видів), які належать до 35 родів (45,5%) та 16 родин (72,7%); № 2 — 34 види (45,9%), є представниками 31 роду (40,3%) та 17 родин (77,3%); № 4 — 32 види (43,2%), 30 родів (38,9%) і 14 родин (63,6%). Найменш чисельною за кількістю таксонів виявилася ділянка № 3, де зафіксовано 13 видів (17,6%), які належать до 9 родів (11,7%) і 8 родин (36,3%).

Екологічна характеристика рослинності дослідних ділянок за системою екоморф О. Л. Бельгарда виявила перевагу певних екоморф та особливостей їхнього розміщення (табл. 2). Аналізуючи спектри ценоморф, зазначаємо, що панівне положення за кількістю належить

рудерантам (51,27% від загальної кількості видів на ділянках) і степантам (21,61%).

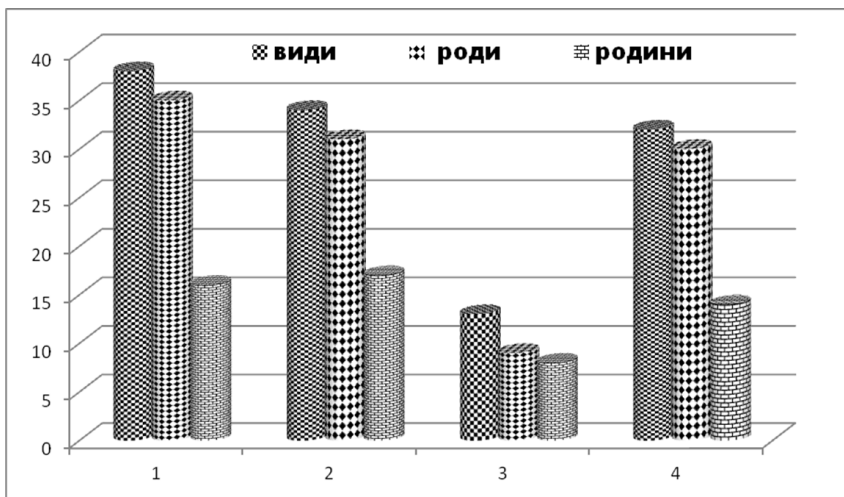


Рис. 1. Узагальнений таксономічний склад рослинних угруповань дослідних ділянок

Figure 1. Generalized taxonomic composition of plant groups of research sites

Таблиця 2. Порівняльна характеристика кількості та трапляння екоморф на дослідних ділянках

Table 2. Comparative characteristics of the number and occurrence of ecomorphs in the study areas

Екоморфи		Ділянки (Види)							
		1		2		3		4	
		абс. к-ть, шт.	% до заг. к-ті	абс. к-ть, шт.	% до заг. к-ті	абс. к-ть, шт.	% до заг. к-ті	абс. к-ть, шт.	% до заг. к-ті
Цено-	St	9	23,7	9	26,5	2	15,4	9	28,1
	StPr	5	13,2	2	5,9	0	0,0	3	9,4
	StSil	4	10,5	9	26,5	5	38,5	1	3,1
	StRu	20	52,6	14	41,2	6	46,2	19	59,4
Кліма-	G	6	15,8	5	14,7	0	0,0	5	15,6
	HKr	22	57,9	17	50,0	7	53,9	16	50,0
	Ph	3	7,9	7	20,6	3	23,1	1	3,1
	T	7	18,4	5	14,7	3	23,0	10	31,3

Продовження табл. 2

Гігро-	Ks	3	7,89	2	5,9	0	0,00	4	12,5
	KsMs	19	50,00	20	58,8	8	61,5	15	46,9
	Ms	3	7,89	5	14,7	3	23,1	2	6,25
	MsKs	13	34,2	7	20,6	2	15,4	11	34,4
Геліо-	He	24	63,2	20	58,8	3	23,1	21	65,6
	ScHe	13	34,2	13	38,2	9	69,2	10	31,3
	HeSc	1	2,6	1	2,9	1	7,7	1	3,1
Трофо-	MgTr	8	21,1	7	20,6	2	15,4	6	18,8
	MsTr	22	57,9	21	61,8	8	61,5	19	59,4
	OgTr	8	21,0	6	17,6	3	23,1	7	21,8

Порівняльний аналіз ценоморфічних спектрів дослідних ділянок виявив, що на ділянках Металургійного району (№ 1 та № 2) також домінують рудеранти та степанти. На ділянках у Саксаганському районі (№ 3 та № 4) спостерігається незначна кількість видів рослин, які належать до степантів (від 10% до 20%), але на ділянці № 4 відсоток зазначеної групи рослин сягає 28,1%. Чисельність пратантів є найменшою серед ценоморф (від 5,9% до 13,2%). На ділянці № 3 пратанти не виявлені (табл. 2).

Аналіз кліматоморфічного спектра свідчить про кількісну перевагу в складі рослинних угруповань гемікриптофітів (50% від загальної кількості видів) і терофітів (25,9%), фанерофітів і хамефітів — найменша кількість по 11,4% і 12,7% відповідно (табл. 2). Слід зауважити, що на ділянці № 3 відсутні гемікриптофіти.

Аналіз спектрів гігроморф відображує панівну роль перехідних форм від ксерофітів до мезофітів. Найчисельнішими за кількістю є ксеромезофіти, які налічують майже 53% від загальної кількості рослин і мезоксерофіти, що складають 29,4% (табл. 2). На ділянці № 3 відсутні такі гігроморфи, як ксерофіти, а мезофіти представлені незначною кількістю (23%).

Рівень зволоження в умовах ландшафтно-техногенних систем є вагомим фактором існування рослинності. Аналіз порівняльних екологічних спектрів рослинних угруповань дослідних ділянок показав переважання перехідних від ксерофітів до мезофітів екоморф, що зумовлено достатнім рівнем зволоження та відповідними адаптаціями до нього в рослин.

Чисельність геліофітів (55,0% від загальної кількості видів) є найбільшою серед геліоморф дослідних ділянок (табл. 2). Необхідно

зазначити, що на всіх дослідних ділянках відсутні сціофіти, які потребують до 30% повного освітлення. Перевага у відповідному спектрі перехідних екоморф (сціогеліофітів 42,3%, геліосціофітів — 2,5%) відображує екологічні умови дослідних ділянок за режимом освітлення.

Серед трофоморф найчисельнішими є мезотрофи (60,6% від загальної кількості видів). Мегатрофи й оліготрофи мають однакову частку участі — по 19% (табл. 2), що свідчить про середню трофність субстратів і ґрунтів дослідних ділянок.

Висновки. Таксономічний склад дослідних ділянок містить 74 види, що належать до 63 родів і 22 родин. У рослинних угрупованнях переважають види родини Asteraceae: *Achillea millefolium* L., *Ambrosia artemisiifolia* L., *Artemisia absinthium* L., *Hieracium virosum* L., *Senecio vernalis* L., *Taraxacum officinale* Wigg., *Tripleurospermum perforatum* (L.) W.D.J. Koch. Частка цих видів у загальному проєктивному покритті становить від 20% до 90%.

Найчисельнішими екоморфами у складі рослинних угруповань дослідних ділянок, розташованих у межах проммайданчиків комбінату і селітебних територій міста, є рудеранти, гемікриптофіти, ксеромезофіти, геліофіти і мезотрофи. Стабільною є наявність у складі рослинних угруповань степантів, сільвантів, терофітів, мезофітів, мегатрофів та оліготрофів. Розподіл видів у спектрах екоморф є подібним, що свідчить про відносно однакові умови існування рослин порівнюваних ділянок.

В умовах Криворіжжя, з переважанням у складі промислових емісій викидів підприємств гірничо-металургійного комплексу, таксономічний та екоморфічний склад є інформативним показником екологічних умов існування рослинних угруповань, а побудовані порівняльні спектри — складовою частиною біомоніторингу стану навколишнього середовища.

References

1. Bahrii, I. D., Bilous, A. M., & Vilkul, Yu. H. (2000). Dosvid kompleksnoi otsinky ta kartohrafuvannia faktoriv tekhnogennoho vplyvu na pryrodne seredovyshche mist Kryvoho Rohu ta Dniprodzerzhynska [Experience of complex estimation and mapping of factors of technogenic influence is on the natural environment of cities of the Crooked Horn and Dniprodzerzhynsk]. Kyiv: Feniks. (in Ukrainian).

2. Dobrovolskyi, Y. A. (1988). Voprosu fytoindykatsyy y monytorynh zahriaznenyia atmosfernoho vozdukha s pomoshchiu drevesnykh rastenyi [Phytoindication issues and monitoring of air pollution with the help of woody plants]. *Monitoringovyye issledovaniya lesnykh ekosistem stepnoy zonyi, ih ohrana i ratsionalnoe ispolzovanie [Monitoring studies of forest ecosystems of the steppe zone, their protection and rational use]*, 62–68. (in Russian).
3. Hlukhov, O. Z. (2008). Indykatsiia stanu tekhnogennoho seredovyscha za morfolohichnoiu minlyvistiю roslyn [An indication of the state of technogenic environment is after morphological changeability of plants]. *Promyslova botanika [Industrial botany]*, 8, 3–11. (in Ukrainian).
4. Hryshko, V. M., Syshchikov, D. V., & Piskova, O. M. (2012). Vazhki metaly: nadkhodzhennia v grunty, translokatsiia u roslynakh ta ekolohichna nebezpeka [Heavy metals: entering soils, translocation in plants and ecological danger]. Donetsk: Donbas. (in Ukrainian).
5. Hryshko, V. M. (2012). Vmist riznykh za rukhomistiю form tsynku v gruntakh urbanizovanykh terytorii [A table of contents of different after mobile forms of zinc is in soils of the urbanized territories]. *Biolohichni systemy [Biological system]*, 4 (2), 149–153. (in Ukrainian).
6. Kazakov, V. L., Paranko, I. S., Smetana, M. H., Shypunova, V. O., Kotsiuruba, V. V., & Kalinichenko, O. O. (2005). Pryrodnycha heohrafiia Kryvbasu. [Natural geography of Kryvbas]. Kryvyi Rih: KDPU. (in Ukrainian).
7. Komarova, I. O. (2015). Osoblyvosti funktsionuvannia roslynnoho orhanizmu v urbotekhnogenii ekosystemi (analiz stanu problemy) [Features of functioning of vegetable organism are in urbotekhnogenii ekosystemi (analysis of the state of problem)]. *Pytannia bioindykatsii ta ekolohii [Issues of bioindication and ecology]*, 20 (2), 18–29. (in Ukrainian).
8. Silich, I. O. (2015). Buferni vlastyvosti gruntiv yak pokaznyk zabrudnennia vazhkymy metalamy edafotopiv Kryvorizkoi urboekosystemy [Buffer properties of soils as an indicator of heavy metal pollution of edaphotopes of the Kryvyi Rih urban ecosystem]. *Ahroekolohichni zhurnal [Agroecological Journal]*, 4, 65–69. (in Ukrainian).
9. Silich, I. O. (2013). Vmist vazhkykh metaliv u rekreatsiinykh ta promyslovykh zonakh Kryvorizhzhia [The content of mobile forms of heavy metals in recreation edaphotopes and industrial areas of

- Kryvorizhya]. *Gruntoznaustvo [Soil Science]*, 14(3–4), 35–42. (in Ukrainian).
10. Yevtushenko, E. O., Shanda, V. I., Savosko, V. M., Malenko, Ya. V., Voroshylova, N. V., Hnilusha, N. V., Kachynska, V. V., Kobriushko, O. O., Komarova, I. O., Pozdnii, Ye. V., & Marchenko, S. O. (2017). *Struktura ta rozvytok kulturfitotsenoziv Kryvorizhzhia: monohrafiia [Structure and development of cultural phytocenoses of Kryvyi Rih: monograph]*. E. O. Yevtushenko, V. M. Savosko (ed.). Kryvyi Rih: Dionat. (in Ukrainian).

ECOLOGICAL STRUCTURE OF PLANT GROUPS OF KRYVYI RIH URBAN INDUSTRIAL COMPLEX

I. A. Komarova, E. A. Yevtushenko

Kryvyi Rih State Pedagogical University, Kryvyi Rih, Ukraine

Abstract. With the help of ecological and conomorphic analysis of vegetation using the data “Ecoflora of Ukraine” according to the principles developed by O. L. Belgard (1960) found that in the plant groups of the Kryvyi Rih urban complex there are 91 species belonging to 77 genera and 26 families. The most common members of such families as Asteraceae, Fabaceae, Brassicaceae, Poaceae, Rosaceae, Apiaceae, Plantaginaceae, Salicaceae.

The base of plant groups of the Kryvyi Rih urban-industrial complex is created by ruderals (51.27% of the total number of species) and stepants (21.61%). In addition, among the life forms according to the classification K. Raunkier (1934) is dominated by hemicryptophytes (50% of the total number of species) and therophytes (25.9%). In terms of preferences for water regime, the most numerous are xeromesophytes (53% of the total number of plants) and mesoxerophytes (29.4%). The groups are dominated by heliophytes (55.0%) and mesotrophs (60.6%).

Ecological characteristics of the vegetation of research areas according to the system of ecomorphs O. L. Belgard (1950) found that the dominant position among coenomorphs belongs to ruderals (51.27% of the total number of species) and steppes (21.61%). The sites in the Metallurgical District are dominated by ruderals and steppes.

The climamorphic spectrum showed a quantitative predominance in the composition of plant groups of hemicryptophytes (50% of the total number of species) and therophytes (25.9%). In general, all areas are dominated by plants that die at the beginning of the unfavorable period to ground level or survive it exclusively in the form of seeds. This is one of the effective physiological mechanisms of preservation and increase in the number of species composition in the areas

Analysis of hygromorphic spectra revealed the dominant role of transitional forms from xerophytes to mesophytes. Xeromesophytes represent almost 53% of the total number of plants, and mesoxerophytes account for 29.4%. There are no xerophytes in plot 3.

The number of heliophytes (55.0% of the total number of species) is the largest among heliomorphs of all research sites. Among tropomorphs, the most numerous are mesotrophs (60.6% of the total number of species), megatrophs

and oligotrophs are represented in equal numbers, namely 19%. Thus, the most numerous ecomorphs in the phytocenoses of research sites with different levels of pollution are ruderal species, hemicryptophytes, xeromesophytes, heliophytes and mesotrophs. Stepants, solvents, therophytes, mesophytes, megatrophs and oligotrophs have a stable presence.

Key words: plant groups, industrial pollution, mining and metallurgical region, resistance.

Citation as:

APA Komarova, I. O., & Yevtushenko, E. O. (2021). Ekolohichna otsinka roslynnoho pokryvu Kryvorizkoho urbopromyslovoho kompleksu [Ecological structure of plant groups of Kryvyi Rih urban industrial complex]. *Ekolohichniy visnyk Kryvorizhzhia [Ecological Bulletin of Kryvyi Rih District]*, 6, 106–118. <https://doi.org/10.31812/eco-bulletin-krd.v6i0>.

ДСТУ 8302:2015 Комарова І. О., Євтушенко Е. О. Екологічна оцінка рослинного покриття Криворізького урбопромислового комплексу. *Екологічний Вісник Криворіжжя*. 2021. Вип. 6. С. 106–118.

EVALUATION OF THE PROTECTIVE EFFECTIVENESS OF AQUEOUS PLANT EXTRACTS IN THE COMPOSITION OF CORROSION INHIBITOR EXTRACT

N. O. Bondarenko¹, A. O. Yuchynska¹, T. V. Selivanova^{2*},
P. P. Nechipurenko²

¹ — *Kryvyi Rih Central City Lyceum, Kryvyi Rih, Ukraine*

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

Abstract. An urgent scientific and technical task is the study of corrosion processes and finding cheap and effective methods of protection. As a result of corrosion destruction, about 10% of annual metal production is lost. Therefore, considerable attention is paid to anti-corrosion measures. Rust inhibitors are an effective way to remove rust and protect against corrosion. Recently, the so-called “green inhibitors” have aroused increased interest. Many plants are a source of such inhibitors, a complex of compounds — alkaloids, polysaccharides, proteins, mucous and tannins. All of them, although to varying degrees, have the ability to be adsorbed on a metal surface and fixed on it. We conducted research on the possibility of protecting metals from corrosion with extracts: Tomato edible *Lycopersicum*, Celandine *Chelidonium majus* L., Althaea *Althaea officinalis* L., Yarrow *Achillea millefolium*.

Key words: green inhibitors, corrosion inhibitors, metal corrosion, plant extracts.

Introduction. Many corrosion inhibitors are now available. All of them, entering into a chemical reaction of the products of thinking on the surface of the metal, which determines the appearance of moisture through the creation of a dense protective film that changes the metal base. The use of all these mixtures, depending on which solution is used, can slow down or stop oxidative processes [1, 3].

A new generation of environmental regulations requires the replacement of toxic chemicals with so-called “green inhibitors”. The choice of inhibitor for a particular application is limited by several factors, including increased environmental awareness and the need to encourage environmentally friendly processes in conjunction with the specific actions of most acid inhibitors, which often require the combined action of compounds to achieve effective corrosion inhibition.

*Corresponding author. E-mail addresses: t.selivanova@kdpu.edu.ua

For this reason, in recent years, great efforts have been made in this area to develop new environmentally friendly inhibitors [2–6].

From the point of view of environmental friendliness, promising components of protective materials can be products of plant origin, one of the main advantages of which is relative cheapness and fast renewability. In the last two decades, research has been carried out to find and obtain the so-called “green” inhibitors: cheaper, readily available and reducing the risk of environmental impact [7].

Sources of such substances can be non-toxic and renewable plant waste. Sources describe extracts of a number of plants that exhibit inhibitory properties to various metals, but the mechanism of their action is practically not studied [8–10].

An extract is a solution consisting of active substances from the whole plant or its parts (roots, leaves, flowers, fruits) and a liquid part that acts as a solvent. The concentration of the extract depends on the solvent and its polarity, the method of extraction. The solvent is most often water or ethyl alcohol.

Various substances have been used since ancient times to prevent corrosion processes. In the Middle Ages, gunsmiths, removing scale from steel, added starch and brewer’s yeast to acid solutions. In the 1900s and 1930s, patented inhibitors were starch, dextrin, gelatin, casein, cake, molasses, carbohydrates, and extracts of wood and coal resins. There are now many developments to protect various alloys with aqueous or alcoholic plant extracts. In table 1. presents some plant extracts as inhibitors that have been studied over the past 10 years. These extracts have been proposed to protect certain metals and alloys.

Table 1. Extracts of plant origin which are created to protect metals

Plant extracts are alcohol or water	Metal that is protected
Mexican tea, fragrant osmanthus leaves, Chinese hibiscus, turmeric long, three-toothed larry	Carbon steel
Garcinia seeds, pointed banana flowers, Mexican argemon, lavender, peppermint, bark and leaves of kadamba, leaves of Kenning ants, roselle, Chinese lemongrass, citrus larch leaves	Low carbon steel
Hemp	Copper
Wormwood oil	Steel
Tannin of a mangrove tree, vernonia, fruit juice date, garlic, prickly pear Indian, tobacco	Aluminum

Continuation of table 1

onion juice	Zinc
ordinary grenade	Brass
lavender	Stainless steel

Reagents and equipment. During the research the following utensils and equipment were used: volumetric flasks, beakers, spatulas, filter paper, petri dishes, laboratory electronic analytical scales VLA-200 ($d = 0.001$ g), drying cabinet, multifunctional device EZODO.

The following reagents were used in the course of work: natural sea salt, sea salt solution with a concentration of 16‰ of distilled water, aqueous solution of 2 mol / l hydrochloric acid. All solutions were prepared on distilled water.

For the study, we also used extracts in two different solvents. The solvents were water and ethyl alcohol. Extracts were also prepared in two ways: from fresh raw materials and from dry raw materials. The extraction was performed directly. First, the plants were weighed and crushed. Then poured the solvent and defended for 5 days in a dark place, periodically stirring the contents.

Experiment techniques. The following research methods and calculations were used during the research. Method of obtaining pickling solutions (Holgin method): plant raw materials (leaves and stems) of wild or domestic plants were crushed with a knife and filled with a weak, concentration of not more than 5%, hydrochloric acid solution. Left for extraction for 7 days. 8 samples were made: option A from fresh plants, option B from dry raw materials. When the extract was ready, a pickling solution was prepared to study its effectiveness.

The protective effect of inhibitors, ie their ability to inhibit the corrosion rate, is evaluated by the inhibition coefficient (g) and the degree of protection (Z). The density of the inhibitor solution was taken equal to the solvent.

All test samples had a thickness of 1 mm. Corrosion losses were evaluated by the gravimetric method on the weight loss of the sample during corrosion. The values of the protective effect of the coating were calculated by the formula:

$$K_m = \frac{m_1 - m_2}{S \cdot \tau}$$

where K_m – corrosion rate, $g / (cm^2 \cdot h)$; m_1 – mass of the sample before the test, g ; m_2 – mass of the sample after the test, g ; S – surface area of the sample, cm^2 ; τ – duration of the study, (hour).

The film thickness was estimated gravimetrically, assuming that the layer is evenly distributed:

$$h = \frac{(m - m_0) \cdot 1000}{S \cdot \rho}$$

where h is the film thickness, μm , m is the mass of the sample with the film, g , m_0 is the mass of the sample without the film, g , ρ is the density of the composition, g/cm , S is the area of the sample, cm .

The effectiveness of the protective action of the corrosion inhibitor was evaluated by the degree of protection:

$$Z_m = \frac{K_m - K'_m}{K_m} \cdot 100, \%$$

where K_m , K'_m – corrosion rate of the metal without inhibitor and with inhibitor, respectively, $g/(\text{cm}^2 \cdot \text{hour})$.

The presence of the effect of “aftereffect” was checked after treatment of steel samples with a disinfectant solution of 1 mol/l hydrochloric acid with the addition of test inhibitors at the optimal concentration of 0.5 g/l for some time. Untreated control plates were immersed in a corrosive working medium without inhibitor, kept. After exposure, the plates were washed with water, weighed and calculated the degree of corrosion protection. The anti-corrosion effect provides the presence of a film on the metal surface formed by adsorption of the inhibitor.

For the experiment, samples were taken from steel (composition, wt.% Fe – 98; C – 0.17–0.24; Si – 0.17–0.37; As – 0.08). Plates in the size of 50 mm*100 mm, 1 mm thick. To assess the protective effectiveness of the solutions, steel samples were polished, degreased with ethyl alcohol, weighed. The film was applied by immersing the samples in the test pickling solution at room temperature for 1 minute, followed by drying in an upright position for 10 minutes in an oven. Corrosion losses were evaluated by gravimetric method on the loss of mass of the sample during corrosion. We studied the effectiveness of the inhibitory effect of aqueous extracts of plants: edible tomato, yarrow, celandine.

Studies on corrosion resistance were performed at a temperature in the range of 19–23°C. Weight loss and hydrogen evolution are most often used to assess corrosion inhibition and the effectiveness of experimental “green inhibitors”.

The values of the protective effect of the coating were calculated by the formula:

$$K_m = \frac{m_1 - m_2}{S \cdot \tau}$$

Results and its discussion. Having received the results and analyzing them, we can say that the proposed extracts are quite good at protecting the metal from aggressive environments. The effectiveness of the protective action of the proposed inhibitors shown in tables 2–4.

Table 2. The magnitude of the protective effect of the coating in an acidic environment

K. sampel / hour	1 hour	24 hour	48 hour	96 hour
Km 0	0.003214	-0.085714286	-0.085714	-0.377143
Km 1 a	0.001429	-1.808571429	0.6428571	3.7028571
Km 1 b	0.002143	-1.808571429	0.54	4.8
Km 2 a	0.002857	-1.311428571	-0.145714	4.3885714
Km 2 b	-0.00071	-1.56	1.1485714	0.1714286
Km 3 a	-0.00393	-0.771428571	0.2657143	1.5085714
Km 3 b	-0.0025	-0.874285714	0.1457143	2.9142857
Km 4 a	-0.00357	-0.994285714	0.2914286	2.4
Km 4 b	-0.00536	-1.037142857	0.1457143	3.0514286

Table 3. The magnitude of the protective effect of the coating in seawater

K. sampel / hour	1 hour	24 hour	48 hour	96 hour
Km 0	-0.000831	0.812775	0.313125	3.9189
Km 1 a	-0.000459	0.020925	-0.00525	-0.0093
Km 1 b	-0.000681	0.01785	-0.00217	-0.0102
Km 2 a	-0.0004	0.024525	0.003075	0.1803
Km 2 b	-0.000581	0.02295	-0.0018	-0.0057
Km 3 a	-0.000419	0.020175	-0.06975	-0.066
Km 3 b	-0.000275	0.023775	-0.00592	-0.1221
Km 4 a	-0.000497	0.01965	-0.00075	-0.0396
Km 4 b	0.0001437	0.028125	-0.00135	-0.0057

Table 2 shows the results of immersion of inhibitor-treated plates in hydrochloric acid solution. Table 3 shows the results of the study in seawater. The seawater solution was modeled with sea salt from the Black Sea.

Therefore, the concentration of the solution was adjusted to the main salinity of the sea in 16‰. The analysis was performed at constant temperature.

The electrolyte concentration at each step was monitored by electrical conductivity using an EZODO multifunction instrument. Measurements showed that during the long stay of the metal in the experimental solution, the concentration did not change significantly, so we can assume that the solution had approximately the same concentration of electrolyte.

It is established that the main components of plant raw materials used for extraction of corrosion inhibitors are glycosides: sucrose, guanosine, xanthosine; purple aldehyde, ketone 3,5-dimethoxyacetophenone, steroids and saturated and unsaturated fatty acids, represented by palmitic, oleic, linoleic and acetic acids [9–13].

Given the fact that inhibitors now have high environmental requirements, inhibitors based on plant extracts are becoming increasingly popular.

According to the method of corrosion inhibition, corrosion inhibitors can be classified into: cathode, anode, or mixed type inhibitors [14–16]. Cathodic corrosion inhibitors reduce the corrosion potential, anodic corrosion inhibitors move the corrosion potential towards higher value. Mixed inhibitors can protect the metal by physicosorption, chemisorption and film formation [14–16]. Physical sorption occurs due to electrostatic interaction between inhibitor molecules and the metal surface. Chemisorption occurs due to donor-acceptor interaction between vacant orbitals on the metal surface and free electron pairs that have an inhibitor [14–16]. Most of the ingredients derived from plant extracts adsorbed on metal according to the Langmuir adsorption model.

The effectiveness of the protective action of the corrosion inhibitor was evaluated by the degree of protection:

$$Z_m = \frac{K_m - K'_m}{K_m} \cdot 100, \%$$

The data obtained after the calculation are presented in table 4.

Table 4. The effectiveness of the protective action of the inhibitor

Zm	hour	24	48	96
1 a	55.55556	-2010	850	1081.8182
1 б	33.33333	-2010	730	1372.7273
2 a	11.11111	-1430	-70	1263.6364
2 б	122.2222	-1720	1440	145.45455

Continuation of table 4

3 a	222.2222	-800	410	500
3 б	177.7778	-920	270	872.72727
4 a	211.1111	-1060	440	736.36364
4 б	266.6667	-1110	270	909.09091

We also calculated the cost of a household corrosion inhibitor. According to the degree of impact on the body, hydrochloric acid belongs to the substances of the 3rd class of danger. HCl – 12%, from 7 gr. liter is not a precursor, in free sale. Vegetable raw material is a waste product or is considered a weed – (free) 350 g. According to the results of calculations per liter of 13% solution, you can prepare 2.769 liters of pickling solution, which can protect 31013 m² of steel surface. Therefore, this type of inhibitors is affordable and their preparation does not require special user training. The technique is easy to perform.

We offer environmentally friendly and cost-effective corrosion inhibitors of low-carbon steels based on vegetable raw materials – Edible Tomato *Lycopersicum*, Celandine *Chelidonium majus* L, *Althaea Althaea officinalis* L., Yarrow *Achillea millefolium*.

In an acidic environment when using aqueous extracts of these plants, the degree of protection is 90.11%.

In a solution of sea salt, which contains 16‰ of salt content, which corresponds to the concentration and density of water in the Black Sea, the degree of protection is 91.29–93.65%.

During the long stay of metal in the solutions, the concentration of electrolyte did not change significantly, so we can assume that the solution had approximately the same concentration throughout the experiment.

We can assume that the proposed extracts are quite effective.

Conclusions. Various substances have been used to prevent corrosion since ancient times. Today, rust converters are used, which are mostly synthetic. Their main disadvantages: high enough toxicity, which requires careful handling of the liquid and is dangerous to the environment, long drying time, inability to work with a thick layer of rust. Not always gives the desired effect, high price.

To develop effective and environmentally friendly inhibitors, you can use plant raw materials, namely: fresh tops and dried parts of the stem and leaves of Tomato *Lycopersicum*, Celandine *Chelidonium majus* L, *Althaea Althaea officinalis* L., Yarrow *Achillea millefolium*. The active substances were removed by extraction from the crushed plant material with the

appropriate amount of extractant (water, 5% hydrochloric acid solution according to the method of Holguin), followed by filtration and decantation of the supernatant.

During the experimental study of homemade plant inhibitors based on extracts: Tomato *Lycopersicum*, Celandine *Chelidonium majus* L., *Althaea Althaea officinalis* L., Yarrow *Achillea millefolium* found that the extracts of all studied plants have inhibitory properties. The greatest value of the protective effect of the coating have the extracts of Celandine and dried Tomato edible fresh, slightly less than *Althaea* dried. The smallest extract of the tops of Tomato edible dried and fresh Yarrow. The effect of protective action, during long-term exposure to aggressive environments, is also greatest in Chitosan ordinary dried and tops of edible fresh tomatoes, slightly less — dried marshmallows. The smallest is the extract of Tomato tops of edible dried and fresh Yarrow.

These results are confirmed by microscopic examinations of the surface of the experimental plates. In an acidic environment when using aqueous extracts of these plants, the degree of protection is 90.11%. In sea salt solution, the degree of protection is 91.29–93.65%.

This version of the study of corrosion inhibitors better understands the process of creating an inhibitor and the conditions of its use. This method can simulate many variants of inhibitors of plant origin. This allows the use of research data to explain and model the concepts of corrosion, inhibitors, and corrosion protection during student learning. When studying the basic concepts of physico-chemical corrosion protection in the course “Physical and colloid chemistry”.

References

1. Vorobyova, V. I., Chyhyrynets, O. E., & Chyhyrynets, E. O. (2013). Investigation of anticorrosive properties of volatile inhibitors of atmospheric corrosion on the basis of vegetable raw materials. *Scientific news “KPI”*, 1, 123–128.
2. Vorobyova, V. I., Chigirinets, O. E., Lipatov, S. Yu., & Chyhyrynets, E. O. (2013). Determination of corrosion resistance of vapor-phase inhibitor in the conditions of periodic condensation of moisture. *Bulletin of the East Ukrainian National University*, 13, 66–73.
3. Slobodyan, Z. V., Magladyuk, L. A., Kupovych, R. B., & Khabursky Ya. M. (2014). Compositions based on extracts from oak bark and

- shavings - corrosion inhibitors of medium carbon steels in water. *Phys.-Chem. mechanics of materials*, 50 (5), 58–66.
4. Mikhailovsky, Yu. N. (1989). Atmospheric corrosion of metals and methods of their protection. Moscow: Metallurgy.
 5. Reshetnikov, S. M. (1986). Inhibitors of acid corrosion of metals. Leningrad: Chemistry.
 6. Saenko, V. I., & Vysotska, L. M. (2015). Corrosion protection of metal structures and products with effective environmentally friendly means of plant origin. *Construction production*, 58, 56–65.
 7. Khabursky, Ya. M. (2015). Anticorrosive properties of extracts of vegetable raw materials in a solution of hydrochloric acid. *Phys.-Chem. mechanics of materials*, 51 (1), 116–121.
 8. Chigrines, E. E., Vorobyova, V. I., Galchenko, G. Y., & Roslik, I. G. (2012). Investigation of the effectiveness of atmospheric corrosion inhibitors. *Metallurgical and mining industry*, 2, 76–80.
 9. Parthipan, P., Elumalai, P., Narenkumar, J., Machuca, L., Murugan, K., Karthikeyan, O., & Rajasekar, A. (2018). *Allium sativum* (garlic extract) as a green corrosion inhibitor with biocidal properties for the control of MIC in carbon steel and stainless steel in oilfield environments. *Int. Biodeterior. Biodegrad.*, 132, 66–73.
 10. Anupama, K., Ramya, K., & Joseph, A. (2017). Electrochemical measurements and theoretical calculations on the inhibitive interaction of *Plectranthus amboinicus* leaf extract with mild steel in hydrochloric acid. *Measurement*, 95, 297–305.
 11. Shabani-Nooshabadi, M., & Ghandchi, M. (2015). *Santolina chamaecyparissus* extract as a natural source inhibitor for 304 stainless steel corrosion in 3.5% NaCl. *J. Ind. Eng. Che.*, 31, 231–237.
 12. Deyab, M., & Guibal, E. (2020). Enhancement of corrosion resistance of the cooling systems in desalination plants by green inhibitor. *Sci. Rep.*, 10, 4812.
 13. Mobin, M., Basik, M., & Aslam, J. (2019). Pineapple stem extract (Bromelain) as an environmental friendly novel corrosion inhibitor for low carbon steel in 1 M HCl. *Measurement*, 134, 595–605.
 14. Brycki, B., Kowalczyk, I., Szulc, A., Kaczerewska, O., & Pakiet, M. (2018). Organic Corrosion Inhibitors. In *Corrosion Inhibitors, Principles and Recent Applications*. Aliofkhazraei, M. (ed.). InTech: London.

15. Richardson, J. A. (2010). Management of Corrosion in the Petrochemical and Chemical Industries. In *Shreir's Corrosion; Elsevier: Amsterdam*, 3207–3229.
16. Papavinasam, S. (2011). Corrosion Inhibitors. In Uhlig's Corrosion Handbook. Revie, R. W. (ed.). John Wiley & Sons Inc.: Hoboken, NJ.

ОЦІНКА ЗАХИСНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ ВОДНИХ РОСЛИННИХ ЕКСТРАКТІВ У СКЛАДІ ЕКСТРАКТУ-ІНГІБІТОРА КОРОЗІЇ

Н. О. Бондаренко¹, А. О. Ючинська¹, Т. В. Селіванова²,
П. П. Нечипуренко²

¹ — Криворізький Центральньо-Міський ліцей КМР,
м. Кривий Ріг, Україна

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

Анотація. Актуальним науково-технічним завданням є вивчення корозійних процесів і пошук дешевих та ефективних методів захисту. Унаслідок корозійного руйнування втрачається близько 10% річного виробництва металу. Тому антикорозійним заходам приділяється значна увага. Інгібітори іржі є ефективним способом її видалення та захисту від корозії. Останнім часом підвищений інтерес викликають так звані «зелені інгібітори». Багато рослин є джерелом таких інгібіторів, комплексу сполук алкалоїдів, полісахаридів, білків, слизових і дубильних речовин. Усі вони, хоча і в різному ступені, здатні адсорбуватися на металевій поверхні та закріплюватися на ній. Проведені дослідження демонструють можливості захисту металів від корозії за допомогою екстрактів рослин: томата їстівного *Solanum lycopersicum*, чистотілу *Chelidonium majus* L., *Althaea officinalis* L., деревію *Achillea millefolium* L.

Ключові слова: зелені інгібітори, інгібітори корозії, корозія металів, рослинні екстракти.

Citation as:

АРА Bondarenko, N. O., Yuchynska, A. O., Selivanova, T. V., & Nechipurenko, P. P. (2021). Evaluation of the protective effectiveness of aqueous plant extracts in the composition of corrosion inhibitor extract. *Ekologichnyi visnyk Kryvorizhzhia [Ecological Bulletin of Kryvyi Rih District]*, 6, 119–128. <https://doi.org/10.31812/eco-bulletin-krd.v6i0>.

ДСТУ 8302:2015 Bondarenko N. O., Yuchynska A. O., Selivanova T. V., Nechipurenko P. P. Evaluation of the protective effectiveness of aqueous plant extracts in the composition of corrosion inhibitor extract. *Екологічний Вісник Криворіжжя*. 2021. Вип. 6. С. 119–128.

ПРОБЛЕМИ
ЕКОЛОГІЧНОЇ ОСВІТИ,
ВИХОВАННЯ ТА
МЕТОДИКИ НАВЧАННЯ
ПРИРОДНИЧИХ
ДИСЦИПЛІН

THE PROBLEMS
OF ECOLOGICAL
EDUCATION, UPBRINGING
AND METHODS
OF NATURAL SCIENCES

ТЕОРЕТИКО-МЕТОДИЧНІ ЗАСАДИ ЩОДО ЯКОСТІ ПРОФЕСІЙНОЇ ЕКОЛОГІЧНОЇ ОСВІТИ В ЗАКЛАДАХ ВИЩОЇ ОСВІТИ

Н. В. Гнілуша*

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

Анотація. На сьогодні система вищої екологічної освіти в Україні знаходиться на складній і відповідальній стадії вдосконалення, дотримується концепції збалансованого розвитку, який відповідає комплексному збалансованому єднанню природного, техногенного, екологічного, юридичного та соціокультурного підходів.

Одним із головних завдань вищої екологічної освіти є формування у студентської молоді розуміння власного майбутнього у професійній діяльності, уміння аналізувати екологічні проблеми та їх вирішення на основі екологічної моделі гармонії з природою, яку визначають як середовищну парадигму, що ґрунтується на вченні В.І.Вернадського, який виступав за механізм забезпечення гармонії відносин людства та природи.

Створена на основі демократичних й еколого-гуманістичних орієнтирів система професійної екологічної освіти покликана забезпечити підготовку творчо активної особистості, здатної будувати свою країну як суспільство, що розвивається на принципах соціоприродної гармонії.

Зміна національної освітньої парадигми зумовлена потребами розвитку суспільства й особистості з трансформацією переконань, утвердженням нових цінностей, широким упровадженням новітніх педагогічних технологій, зміщенням акцентів освіти з принципу адаптивності на принцип компетентності фахівців.

У світовій практиці одним із найбільш перспективних напрямків удосконалення якості професійної екологічної освіти є компетентнісний підхід, в основу якого покладена ідея ключових компетенцій, запропонована експертами Ради Європи на початку 1990-х років.

Ключові слова: збалансований розвиток, професійна екологічна освіта, майбутні екологи, фахова підготовка, університет, професійна компетентність, контекстний підхід.

Вступ. У сьогоднішній час посилюються вимоги ринку праці до рівня професійної підготовки спеціалістів. Питання глобалізації є актуальними у сфері вищої освіти, а саме: транснаціональна освіта; потреба міжнародної якості професійної освіти.

За останні роки в Україні пройшли великі зміни в суспільному житті, що стосуються й університетської освіти, якій надається унікальна роль продукування знань, що визначають рівень розвитку соціуму. Євроінтеграційні процеси, які можна простежити у нашому суспільстві, почалися і у вищій освіті, що вимагає професійної підготовки мобільного конкурентноздатного фахівця.

Важливу роль у розв'язанні екологічних проблем, спричинених впливом виробництва та людської діяльності, відіграє якісна фахова підготовка майбутніх екологів, адже відтворення, збереження й охорона довкілля є основним завданням їхньої професійної діяльності.

Докорінні зміни національної вищої освіти зумовлені виконанням Закону України «Про освіту», «Про вищу освіту», Національної стратегії розвитку освіти в Україні, Концепції екологічної освіти України, Стратегії сталого розвитку в Україні — 2030.

Мета дослідження — теоретичне та методичне обґрунтування якості професійної екологічної освіти на засадах компетентнісного та контекстного підходів.

Матеріали та методи: теоретичний аналіз психолого-педагогічної, методичної, наукової літератури з проблеми дослідження.

Результати та їх обговорення. Проблеми вдосконалення вищої освіти в Україні досліджувались науковцями, зокрема це відображено в працях В. Андрущенка, В. Кременя (модернізація педагогічної освіти в контексті Болонського процесу), В. Бондаря (принципи, форми, засоби та методи організації компетентнісного професійно орієнтованого навчання фахівців) та ін.

Н. В. Гнілуша [3] зазначає, що роль закладів вищої освіти є провідною у сприйнятті нової освітянської парадигми стійкого розвитку. Освіта для стійкого розвитку спрямована на розвиток можливостей людини до постійного навчання, що сприяє переорієнтації його цілей.

А. Д. Урсул пропонує альтернативу стійкого розвитку — «модель ноосферного розвитку», яка дозволила б вирішити протиріччя між освітою та суспільством, визначити вихід із кризи. Це означає трансформацію між сучасністю, минулим і майбутнім. Модель освіти XXI століття повинна орієнтуватися не на тогочасне, а на майбутнє [6].

Професійна підготовка майбутніх екологів розглянута у працях таких дослідників: формування професійної компетентності екологів (В. Боголюбов, Г. Папучкова та ін.), біологічна підготовка екологів (С. Рудишин та ін.), особливості підготовки екологів у закладах вищої

освіти технічного профілю (Т. Саєнко та ін), природничо-наукова підготовка екологів (Г. Білецька та ін.) тощо.

Аналізуючи дослідження науковців, які займаються питаннями модернізації й удосконалення якості вищої освіти в Україні, вважаємо, що формування професійних компетентностей майбутніх екологів, в умовах складної екологічної ситуації в світі, наразі є актуальними.

Дослідники А. Кузьмінський, Н. Побірченко та ін. у контексті проблем професійної освіти розмежовують поняття «компетенції» й «компетентності». Основою для такого розмежування виступає об'єктивність і суб'єктивність факторів, що визначають професійну діяльність. Об'єктивні фактори відображає поняття «компетенції». Воно визначає сфери діяльності фахівця, його права й обов'язки, зафіксовані офіційними документами: законами, указами, наказами, положеннями, інструкціями та ін. Суб'єктивні фактори відображає поняття «компетентність», яке розглядається як система сформованих на момент виконання професійних дій якостей, властивостей, знань, умінь, можливостей, відповідальності фахівця [4, 5].

Компетентності — як індивідуальні знання, якості, властивості, вміння — непостійні, їх якісні й кількісні параметри безупинно змінюються. Компетенції, що включають у себе самоусвідомлення особистістю своїх обов'язків, обумовлені офіційними об'єктивними умовами: інструкціями, положеннями, правилами та ін. Тому компетенції відображають досить стійку систему зовнішніх умов. Сполучною ланкою в системі «компетенція — компетентність» виступає діяльність щодо здійснення фахівцем своїх посадових професійних функцій, що залежить як від компетенції, так і від його компетентностей. Отже, термін «компетенція» використовують частіше для визначення меж дії фахівця, а «компетентність» — для оцінки якості його діяльності.

Процес реалізації компетентнісного підходу в системі професійної освіти, як зазначає А. А. Вербицький [1], характеризується низкою протиріч, основне з яких — це протиріччя між прагненням суспільства реалізувати цілі гуманістичної освітньої парадигми, що розглядає особистість як центр власного самоудосконалення, прагматично зумовленими орієнтирами компетентнісного підходу у професійній освіті.

У підготовці майбутніх екологів назване протиріччя підсилюється частковими суперечностями, зокрема між необхідністю майбутньому спеціалісту мати досвід самоідентифікації й саморозвитку та переважною спрямованістю методів традиційного навчання в

зкладах вищої освіти на формальне засвоєння наукових знань; вимогами сучасного суспільства щодо креативності, творчої сміливості, самостійності й відповідальності еколога у процесі його підготовки; необхідністю оволодіння майбутнім екологом основними компонентами продуктивних особистісних і професійних компетенцій і відсутністю комплексної технології їхнього становлення в навчанні; цілісністю професійної діяльності й «розосередженістю» змісту навчання й виховних впливів у межах різних навчальних дисциплін.

Організація професійної підготовки еколога в закладах вищої освіти — це процес практичної реалізації взаємопов'язаних організаційних і педагогічних заходів, які забезпечують формування у студентів екологічної спеціальності професійної мотивації, професійних знань, умінь, навичок і професійних компетенцій відповідно до екологічної діяльності в довіллі та готовність студента до професійної діяльності під час навчання в закладах вищої освіти.

А. А. Вербицький, аналізуючи зміст і методика підготовки спеціалістів у вищій школі, виділяє одне з важливих протиріч цієї підготовки, сутність якого полягає в різниці предметної діяльності — «навчальної» та майбутньої — «професійної» [2].

Одними з основних принципів контекстного навчання, за А. А. Вербицьким, є педагогічне включення студента в освітню діяльність; послідовне моделювання в освітній діяльності студентів цілісного змісту, форм та умов професійної діяльності фахівців [2].

Аналізуючи ряд представлених традиційних та інноваційних методологічних підходів фахової підготовки майбутніх екологів, зробимо акцент на тому, що в попередніх розробках із питань їх професійної підготовки не розглядалися аспекти проектування змісту і способів виконання завдань фахової діяльності на засадах контекстного підходу. У нашому дослідженні за основу моделювання змісту фахової підготовки майбутніх екологів в університетах обрано саме контекстний підхід.

Реалізація в освітньому процесі логічного змісту контекстного навчання, а саме: логіки навчальної діяльності і логіки професійної діяльності, — дозволяє значно підвищити якість професійної підготовки. Запропоновані алгоритми можуть бути використані під час проектування освітніх технологій у різних навчальних дисциплінах.

Нами було проведено педагогічне дослідження, де основне завдання полягало в зіставленні рівня готовності до професійної діяльності та сформованості професійної компетентності за традиційною і

пропонованою методичною системою організації освітнього процесу підготовки майбутніх фахівців зі спеціальності 101 Екологія.

Усі стадії підготовки майбутніх компетентних спеціалістів умовно поділено на такі етапи: 1) адаптаційно-професійний; 2) професійно-розвивальний, 3) професійно-продуктивний. Рівень готовності студентів до професійної діяльності визначався в межах мотиваційно-ціннісних, когнітивних та операційно-діяльнісних критеріїв ефективності.

Після отримання первинних результатів констатуючого етапу дослідження було сформовано контрольні (КГ) й експериментальні (ЕГ) групи. Для оцінювання показників критеріїв використовувався структурно-компонентний метод оцінювання професійних якостей особистостей із подальшою їх статистичною обробкою. Динаміка показників критеріїв демонструє ріст високого (на 18%) та середнього рівнів (на 25%) готовності до професійної діяльності студентів, що доводить ефективність моделі професійної підготовки майбутніх фахівців та організаційних умов її реалізації, які були впроваджені в експериментальних групах.

Отже, застосування технологій контекстного навчання дозволяє максимально наблизити зміст і процес освітньої діяльності студентів до їх подальшої професії. У різноманітних формах діяльності здобувачів вищої освіти поступово ніби промальовується зміст майбутньої спеціальності, що дозволяє ефективно здійснювати професійний розвиток висококваліфікованих фахівців.

Висновки. Професійно-орієнтована технологія навчання — це технологія, яка забезпечує в тих, хто навчається, формування важливих для їх майбутньої професійної діяльності особистісних якостей, а також професійних компетенцій, які забезпечують виконання функціональних обов'язків за призначенням.

Застосування викладачами закладів вищої освіти (університетів) основ проектування і конструювання технології навчання сприяє розвитку нового педагогічного мислення та спрямовано на формування технологічного підходу до процесу навчання (змісту навчальної дисципліни).

Проектування навчально-методичного комплексу й конструювання професійно-орієнтованої технології навчання має на меті створення викладачем професійно-орієнтованого середовища навчання, що надає можливість у межах навчальної дисципліни організувати педагогічну взаємодію зі студентами, що сприяє підготовці конкурентоздатного професіонала.

References

1. Verbickij, A. A., & Larionova, O. G. (2006). Gumanizaciya i kompetentnost: konteksty integracii. [Humanization and competence: contexts of integration]. Moscow: MGOPU, 165. (in Russian).
2. Verbickij, A. A., & Kalashnikov, V. G. (2010.) Kategorija “kontekst” v psihologii i pedagogike: monografija. [Category “context” in psychology and pedagogy: monograph]. Moscow: Logos, 300. (in Russian).
3. Gnilusha, N. V. (2014). Filosofski problemi teorii i metodologiyi ekologichnoyi osviti u konteksti profesijnoyi osviti [Philosophical problems of the theory and methodology of environmental education in the context of vocational education] *zbirnik naukovih prac “Osvita doroslih: teoriya, dosvid, perspektivi” / redkol. L. B. Luk’yanova (golova) ta in.: In-t ped. osviti i osviti doroslih NAPN Ukrayini. [a collection of scientific papers “Adult education: theory, experience, prospects” / editor. L. B. Lukyanov (chairman) and others.: Inst. Of Pedagogical Education and Adult Education of the National Academy of Pedagogical Sciences of Ukraine]*. Kyiv; Luhansk: KNOWLEDGE Publishing House, Issue.1 (8), 19–27. (in Ukrainian).
4. Kuzminskij, A. I. (2005). Pedagogika vishhoyi shkoli [Tekst]: navch. posib. [Pedagogy of higher school [Text]: textbook]. Kyiv: Knowledge, 184. (in Ukrainian).
5. Pobirchenko, N. A. (2012). Nauka i praktika kompetentnisnogo vimiru osobistisnogo zrostannya uchnivskoyi molodi. [Science and practice of competence measurement of personal growth of student youth] *Kompetentnisnij vimir osobistisnogo zrostannya uchnivskoyi molodi: teoriya, praktika, dosvid. Materiali Vseukrayinskoyi naukovopraktichnoyi konferenciyi, 10–11 kvitnya 2012 r.; redakcijnna kolegiya: Pobirchenko N. A., Pashkov V. V. [Competence dimension of personal growth of student youth: theory, practice, experience. Proceedings of the All-Ukrainian scientific-practical conference, April 10–11, 2012; editorial board: Pobirchenko N. A., Pashkov V. V.]*. Zaporozhye: “Accent Invest-Trade”, 11–18 (in Ukrainian).
6. Ursul, A. D. (2001). Model operezhayushhego obrazovaniya [Model of advanced education]. *Filosofiya jekologicheskogo obrazovaniya [Philosophy of environmental education]*. Moscow: Progress-Tradition, 50. (in Russian).

**THEORETICAL AND METHODOLOGICAL PRINCIPLES
ON THE QUALITY OF PROFESSIONAL ECOLOGICAL
EDUCATION IN HIGHER EDUCATION**

N. V. Gnilusha

Kryvyi Rih State Pedagogical University, Kryvyi Rih, Ukraine

Abstract. Today, the system of higher environmental education in Ukraine is at a complex and responsible stage of improvement, adhering to the concept of balanced development, which corresponds to a comprehensive balanced combination of natural, man – made, environmental, legal and socio-cultural approaches.

One of the main tasks of higher environmental education is the formation of students' understanding of their own future in professional activities, the ability to analyze environmental problems and their solutions based on the ecological model of harmony with nature, which is defined as an environmental paradigm based on the teachings of V.I.Vernadsky, who advocated a mechanism to ensure the harmony of humanity and nature.

Created on the basis of democratic and ekologo-humanism orientiriv the system of trade ecological education is called to provide preparation creatively of active personality, able to build the country as society which develops on principles of socioprirodnoy harmony.

The change in the national educational paradigm is due to the needs of society and personality with the transformation of beliefs, the establishment of new values, the widespread introduction of new pedagogical technologies, shifts the emphasis of education from the principle of adaptability to the principle of competence.

In world practice, one of the most promising areas for improving the quality of vocational environmental education is the competence approach, which is based on the idea of key competencies proposed by experts of the Council of Europe in the early 1990 s.

Key words: balanced development, professional ecological education, future ecologists, professional training, university, professional competence, contextual approach.

Citation as:

APA Hnilusha, N.V. (2021). Teoretyko-metodychni zasady shchodo yakosti profesiinoi ekolohichnoi osvity v zakladakh vyshchoi osvity [Theoretical and methodological principles on the quality of professional ecological education in higher education]. *Ekolohichnyi visnyk Kryvorizhzhia [Ecological Bulletin of Kryvyi Rih District]*, 6, 131–137. <https://doi.org/10.31812/eco-bulletin-krd.v6i0>.

ДСТУ 8302:2015 Гнілуша Н.В. Теоретико-методичні засади щодо якості професійної екологічної освіти в закладах вищої освіти. *Екологічний Вісник Криворіжжя*. 2021. Вип. 6. С. 131–137.

СТАНОВЛЕННЯ ФІЗИЧНИХ КОМПЕТЕНТНОСТЕЙ УЧНІВ У ДОСЛІДНИЦЬКИХ ЗАДАЧАХ

Р. М. Балабай, Я. В. Грицай*

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

Анотація. Оскільки фізика є експериментальною наукою, важливо у процесі її навчання забезпечити можливість дослідним шляхом вивчати закономірності явищ природи. Фізична задача є ефективним засобом навчання фізиці, тому що вона сприяє формуванню багатьох особистісних якостей і компетентностей учнів.

Метою цієї роботи було розроблення авторської дослідницької задачі для гурткової роботи у старшій школі на тему «Вимірювання напруженості магнітного поля за допомогою ефекту Холла» та розкриття особливості її використання.

Під час роботи були проведені досліді з цифровим датчиком Холла (серія SS41F): розглянута специфікація цифрового датчика, його принцип роботи і структурна схема, поведінка датчика за відсутності магнітного поля та за його наявності.

Цифровий датчик Холла може демонструвати відсутність або наявність магнітного поля. Він як «ключ» спрацьовує залежно від напрямку магнітного поля. За одного напрямку було зафіксовано «замикання ключа-датчика», а в разі зміни полярності — «розмикання».

У процесі виконання запропонованої дослідницької задачі учні навчаються використовувати різноманітні прилади для вимірювання фізичних величин, що дасть змогу ефективно засвоїти певні розділи фізики та набуті вміння й навички використання різноманітних фізичних приладів.

Ключові слова: дослідницькі задачі, провідник із струмом, магнітне поле, ефект Холла, датчик електрорушійної сили Холла.

Вступ. Фізика є базою інформаційної і технічної освіти й основою науково-технічного прогресу. До об'єктів фізичних досліджень відносять механічні, теплові, електричні й оптичні явища, процеси, що відбуваються на Землі та в її надрах, явища Всесвіту і властивості живих організмів. Фізика — наука експериментальна, тому так важливо у процесі її навчання забезпечити можливість дослідним шляхом вивчати закономірності явищ природи. Під час вивчення фізики встановлюється зв'язок між явищами і властивостями фізичних тіл.

Чим повніше й наочніше буде розкритий перед учнями цей зв'язок, тим краще вони будуть розуміти ці явища.

Фізична задача є ефективним засобом навчання фізиці, що доведено теоретично й підтверджено практикою [4, 10, 11, 13]. Рішення фізичних завдань сприяє формуванню багатьох особистісних якостей і компетентностей учнів, а саме: розвитку практичних умінь; логічного мислення; уміння оцінювати явища; висувати гіпотези та розвитку креативності. Під дослідницькими задачами розуміються творчі завдання, у процесі виконання яких проводяться теоретичні й експериментальні дослідження проблеми [1, 6, 8, 9, 12]. Рішення дослідницьких завдань сприяє виробленню в учнів уміння підходити до завдання, як до невеликого дослідження, що приводить до формуванню навичок дослідницької діяльності. Дослідницькі задачі є не лише основою, фундаментом для вивчення фізики, але й цікавою та новою сферою, у якій дитина може себе реалізувати. Тому слід підбирати такі досліди чи експерименти, які спонукають учня творчо мислити, пробуджують у дитини допитливість і бажання дізнатися «Чому це відбувається?». Хороша дослідна задача для учнів — це таке завдання, у якому є природний параметр, за яким можна спостерігати в дослідженні. Отже, у кожен момент часу учень самостійно може зрозуміти, що йому необхідно робити далі: скласти схему та виконати вимірювання певних фізичних величин, обробити результати, враховуючи похибки вимірювань.

Мета — авторська розробка дослідницької задачі для гурткової роботи (за сприятливих умов — класної роботи) у старшій школі на тему «Вимірювання напруженості магнітного поля за допомогою ефекту Холла» від постановки завдань дослідження до аналізу його результатів.

Матеріали та методи дослідження. Матеріалом досліджень слугували наукові публікації, навчальний набір ЕСФЕ-2, датчик SS41f, мілівольтметр, міліамперметр і змінний струм. Використовували методи експерименту, опису, аналізу та синтезу.

Методична розробка дослідницької задачі на тему «Вимірювання напруженості магнітного поля за допомогою ефекту Холла». *Елементарна теорія ефекту Холла.* Електромагнітне поле — особлива форма матерії, за допомогою якої здійснюється взаємодія між електрично зарядженими частинками. Воно складається з двох окремих полів — електричного та магнітного. Магнітне поле допомогло людству перейти в нову технологічну епоху. Робота всіх сучасних гаджетів залежить від нього. Теоретична відсутність магнітного

поля призвела б до занепаду цивілізації та зробила б неможливим життя на Землі через сонячну радіацію. У шкільному курсі фізики явища пов'язані з магнітним полем вивчаються в 11 класі у розділі «Електродинаміка» [2].

Явище, яке полягало у виникненні електрорушійної сили в результаті викривлення шляху носіїв струму в металах, які знаходились в магнітному полі, було відкрито в 1879 році американським фізиком Холлом. Це явище впродовж багатьох років не грало в науці значної ролі. І тільки з розвитком фізики твердого тіла й особливо фізики напівпровідників значення ефекту Холла різко зросло. Явище, яке відкрив американський фізик Едвін Герберт Холл, полягає в тому, що в провіднику зі струмом, поміщеному в магнітне поле, яке перпендикулярне напрямку струму, виникає електричне поле в напрямку, перпендикулярному напрямкам струму та магнітного поля [5]. Наведемо елементарну теорію ефекту Холла. Для цього розглянемо зразок напівпровідника у вигляді прямокутного паралелепіпеда (рис. 1).

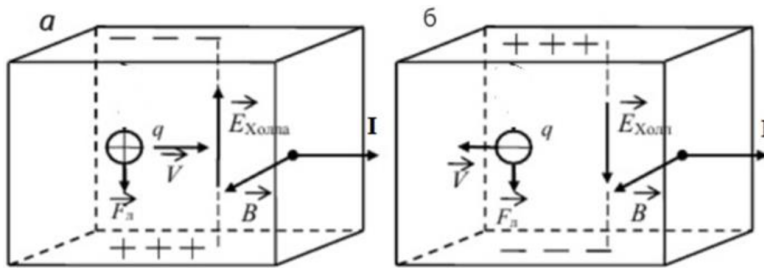


Рис. 1. Відхилення а) дірок і б) електронів, що рухаються в магнітному полі, в ефекті Холла

Figure 1. Deviation of a) holes and b) electrons moving in a magnetic field in the Hall effect

Нехай струм протікає зліва направо. Якщо струм створюється дірками, то швидкість дрейфу (рух носіїв заряду під дією електричного поля) має той же напрямок, що і струм I ; якщо ж електронами, то направлена в протилежну сторону. Слід зазначити, що дрейфова швидкість — це середня швидкість руху носіїв заряду, спрямованого зовнішнім електричним полем. Помістимо напівпровідник у зовнішнє магнітне поле так, щоб його індукція \vec{B} була спрямована перпендикулярно струму. Сила Лоренца \vec{F}_L :

$$\vec{F}_L = \pm e \left[\vec{v}_{др} \times \vec{B} \right], \quad (1)$$

як результат добутку векторів, буде спрямована вниз як для дірок, так і для електронів (див. рис. 1). Під дією цієї сили дірки в акцепторному напівпровіднику (рис. 1.а) й електрони в донорному напівпровіднику (рис. 1.б) будуть відтиснені до нижньої поверхні зразка, унаслідок чого на верхній поверхні виникне їх дефіцит, що обумовить протилежний за знаком заряд щодо заряду на нижній поверхні. Отже, у напівпровіднику p -типу нижня грань заряджається позитивно, а верхня грань — негативно, і виникає холлівське електричне поле $\vec{E}_{Холла}$, спрямоване від низу до верху. У напівпровіднику n -типу нижня грань (за того ж напрямку струму) заряджається негативно, верхня — позитивно, і холлівське електричне поле напрямлене зверху вниз. Отже, у результаті розділення зарядів з'являється електричне поле напруженістю $\vec{E}_{Холла}$ й електрорушійною силою (ЕРС) $e\vec{E}_{Холла}$. На цьому ефекті заснована дія електронних пристроїв — датчиків Холла, призначених для вимірювання напруженості (індукції) магнітного поля.

Датчики ЕРС Холла. Датчики ЕРС Холла — елементи автоматики, радіоелектроніки та вимірювальної техніки, що використовуються як вимірювальні перетворювачі, дії яких засновані на ефекті Холла. Вони є тонкою прямокутною пластиною (площа кілька мм²) або плівкою, виготовленою з напівпровідника (Si, Ge, InSb, InAs), мають 4 електроди для підведення струму й вимірювання ЕРС Холла. Щоб уникнути механічних пошкоджень, пластинки монтують (плівку наплюють у вакуумі) на міцній підкладці з діелектрика (слюди, кераміки). Для отримання найбільшого ефекту товщина пластини (плівки) робиться меншою. За допомогою датчика ЕРС Холла можна вимірювати будь-яку фізичну величину, яка однозначно пов'язана з магнітним полем, зокрема можна вимірювати силу струму, оскільки навколо провідника зі струмом утворюється магнітне поле [3, 7, 11]. Датчики Холла є основою багатьох інших типів датчиків, таких як датчики лінійного або кутового переміщення, датчики магнітного поля, датчики струму, датчики витрат та інші. Зручність безконтактного спрацьовування (повна відсутність механічного зносу), низька вартість, простота використання роблять їх незамінними у приладобудуванні, автомобільній, авіаційній та інших галузях промисловості.

Аналогові датчики Холла є мікросхемами з аналоговими напругами на виході. Мікросхеми з аналоговим виходом поділяються на

дві підгрупи: уніполярні та біполярні. Уніполярний перемикач спрацьовує тільки за наявності магнітного поля однієї полярності і гарантує вимкнений стан за відсутності магнітного поля; магнітне поле протилежної полярності не чинить на нього ніякого впливу. Біполярний тригер, навпаки, реагує на обидві полярності: включається за умови наближення північного або південного полюсів магніту і вимикається лише в тому випадку, якщо поле з протилежним знаком досягне певного рівня. Такі перемикачі переходять у включений стан за наявності магнітного поля, а вимикаються за відсутності поля або у присутності поля з протилежним знаком.

Цифрові датчики Холла видають інформацію про присутність або відсутність магнітного поля. Якщо індукція досягає деякого порога — датчик видає присутність поля у вигляді деякої логічної одиниці, якщо поріг не досягнутий — датчик видає логічний нуль. Тобто за слабкої індукції та відповідно чутливості датчика присутність поля може бути не зафіксована.

Досліди з цифровим датчиком Холла серії SS41F. Були проведені досліді з цифровим датчиком Холла (серія SS41F). Розглянемо специфікацію цього датчика (табл. 1).

Таблиця 1. Специфікація цифрового датчика Холла
Table 1. Digital Hall sensor specification

Серія	SS41F
Тип вихідного сигналу	Цифровий
Напруга живлення, В	4,5...24
Вихідна напруга, В	0,4
Струм живлення, мА	15
Вихідний струм, мА	10–20
Допустима температура,	-40...+150
Діапазон вимірювання, Гаус	-40...+40

Розташування та характеристики ніжок досліджуваного датчика наведені на рис. 2. Датчик SS41f є біполярним, його вихід має два стани — вихід відкривається за наявності магнітного поля одного полюса і закривається магнітним полем другого полюса. Ніжка «+» приймає напругу джерела струму; «-» грає подвійну роль:

- 1) використовується за умови подачі напруги живлення від джерела;
- 2) використовується для контролю вихідної напруги на вольтметрі.

Ніжка «вихід» (“out”) використовується для контролю вихідної напруги.

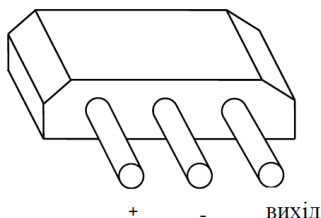


Рис. 2. Схема ніжок датчика Холла серії SS41F

Figure 2. Scheme of legs of the Hall sensor of the SS41F series

Щоб зрозуміти як працює датчик, наведемо його структурну схему на рис. 3 та рис. 4.

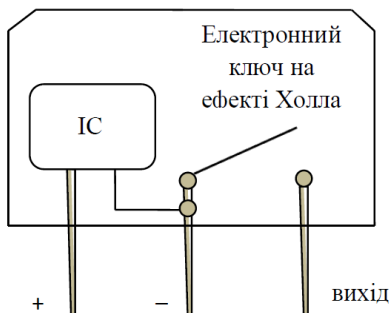


Рис. 3. Структурна схема датчика Холла серії SS41F

Figure 3. Block diagram of the Hall sensor of the SS41F series

Датчик працює як «ключ» (перемикач). Якщо піднести магніти з двох боків датчика, то за одного розташування полюсів магнітів, перемикач — закритий, а під час зміни магнітів місцями (тобто зміни розташування полюсів) — перемикач відкритий. Коли на ніжку «+» відносно ніжки «-» подавати напругу, то електрони в матеріалі датчика рухаються по прямій лінії. Під впливом зовнішнього магнітного поля негативно заряджені електрони будуть відхилятися до одного боку датчика, а позитивно заряджені дірки до іншого.

Електрична схема для дослідження поведінки датчика Холла в магнітному полі показана на рис. 5. Ця схема складалася з джерела

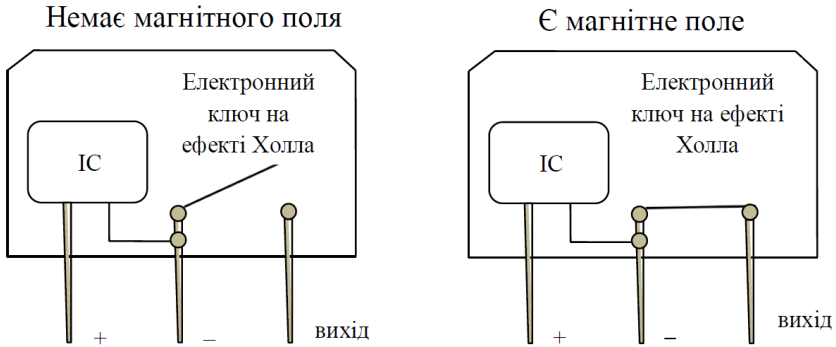


Рис. 4. Положення «електронного ключа» відносно присутності магнітного поля

Figure 4. The position of the “electronic key” relative to the presence of a magnetic field

ЕРС, мілівольметра, міліамперметра, змінного опору та датчика Холла. Від джерела подавалася постійна напруга на ніжки датчика, які помічені «+» та «-». Ніжки «вихід» і «-» використовували для контролю вихідної напруги на мілівольтметр. Як міліамперметр і мілівольтметр використовували мультиметри.

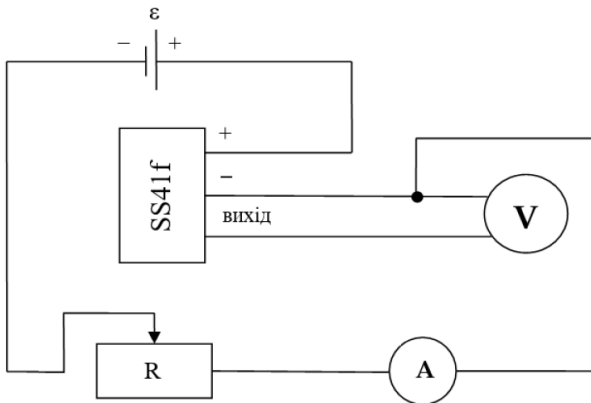


Рис. 5. Принципова схема дослідження цифрового датчика, що працює на ефекті Холла

Figure 5. Circuit diagram of the study of a digital sensor operating on the Hall effect

За відсутності магнітного поля під час подачі від джерела на датчик напруги у 5 В, отримували покази міліамперметра 2,2 мА (зі специфікацій відомо, що робоча сила вихідного струму датчика повинна бути в діапазоні 10–20 мА) та значення вихідної напруги у 0,4 мВ, що показано на рис. 6.

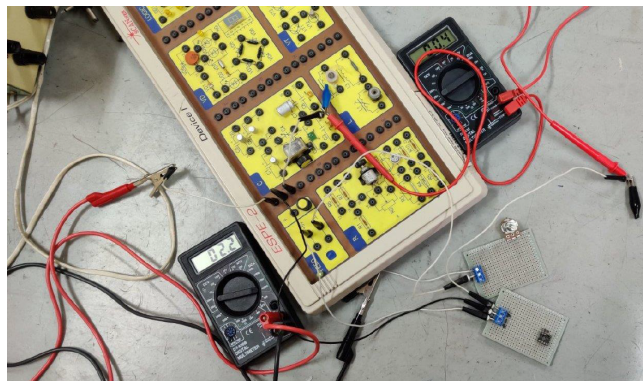


Рис. 6. Установка для вивчення ефекту Холла з використанням цифрового датчика SS41f — покази приладів за відсутності магнітного поля

Figure 6. Installation for studying the Hall effect using a digital sensor SS41f — instrument readings in the absence of a magnetic field

Далі було з'ясовано як поводить себе датчик Холла в магнітному полі (рис. 7). Поле створювалось двома круглими постійними магнітами, між якими був розміщений датчик. Присутність магнітного поля перевело його в інший робочий стан, покази контролюючих приладів при цьому: мілівольметра 2,1 мВ, міліамперметра 2,0 мА — ця ситуація зафіксована на рис. 7.

За умови зміни напрямку напруженості магнітного поля електронний перемикач переводиться у «відкрите положення»: покази мілівольметра при цьому 0 В, міліамперметра 2,0 мА (рис. 8).

Як зазначалось раніше, цей цифровий датчик Холла може демонструвати відсутність або наявність магнітного поля. Отже, ми зафіксували той факт, що датчик Холла як «ключ» спрацьовує залежно від напрямку магнітного поля. За одного напрямку ми фіксували «замикання ключа-датчика», а за зміни полярності — «розмикання».

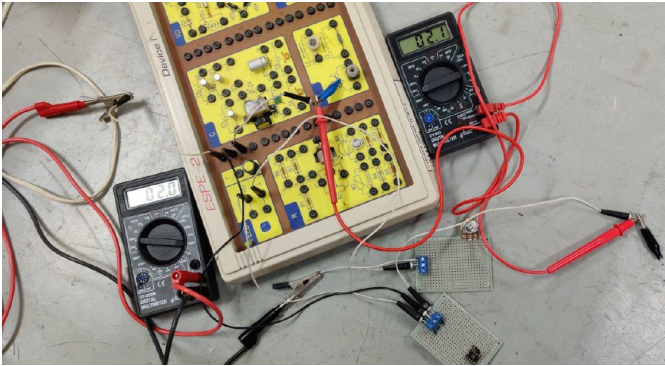


Рис. 7. Установа з цифровим датчиком Холла — покази приладів за присутності магнітного поля
Figure 7. Installation with a digital Hall sensor — instrument readings in the presence of a magnetic field

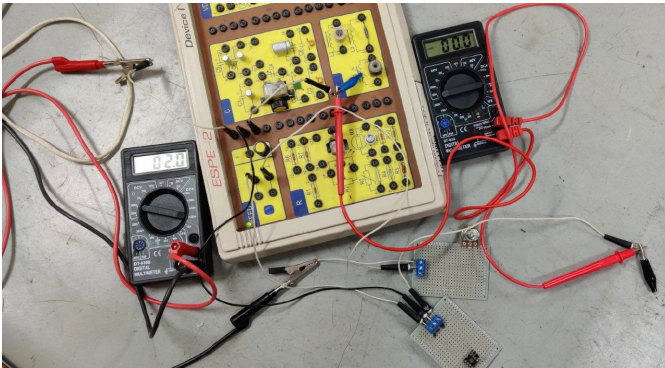


Рис. 8. Установа з цифровим датчиком Холла — покази приладів за зміни напрямку магнітного поля
Figure 8. Installation with a digital Hall sensor — instrument readings when changing the direction of the magnetic field

Висновки. Представлена авторська методична розробка дослідницької задачі для гурткової роботи у старшій школі на тему «Вимірювання напруженості магнітного поля за допомогою ефекту Холла», мета якої проаналізувати ефект Холла в напівпровідниках і його використання в сучасних пристроях.

Запропоновані та виконані порівняно прості дослідні зі звертанням уваги на правильне виконання процесу вимірювання.

Під час виконання запропонованої дослідницької задачі учні навчаються використовувати різноманітні прилади для вимірювання фізичних величин, що дає змогу ефективно засвоїти певні розділи фізики та набути вміння й навички використання різноманітних фізичних приладів.

References

1. Bilous, S. YU. (2004). *Yak rozvynuty yakosti doslidnyka, abo metodyka doslidnyts'kykh lantsyuzhkv* [How to develop the qualities of a researcher, or the methods of research chains]. *Osnova*. (in Ukrainian).
2. Liashenko, O. I., Bugailov, O. I., Korshak, Ye. V., Martiniuk, M. T., & Shut, M. I. (2005). *Fizyka. Prohramy dlya zahal'noosvitnikh navchal'nykh zakladiv 7–12 klasy* [Physics. Programs for secondary schools 7–12 grades]. Irpin. (in Ukrainian).
3. Manego, S. A., Bumbay, Yu. A., & Chernyi, V. V. (2016). *Effekt Kholla: uch.-met. pos.* [Hall effect: educational and methodological guide]. Belarusian National Technical University. (in Belarusian).
4. Rybalko, A. V. (2004). *Metodolohichnyy pidkhid do klasyfikatsiyi doslidnyts'kykh zadach za yikh dydaktychnymy tsilyamy* [Methodological approach to the research tasks' classification according to their didactic goals]. *Visnyk Zhytomyrs'koho pedahohichnoho universytetu* [Bulletin of Zhytomyr Pedagogical University], 14, 91–94. (in Ukrainian).
5. Shevchenko, Yu. O. (2010). *Osnovy fiziki tverdogo tela: uch. pos* [Fundamentals of Solid State Physics: educational guide]. St. Petersburg National Research University of Information Technologies, Mechanics and Optics. (in Russian).
6. Volynets, I. M. (2016). *Demonstratsyyny eksperyment* [Demonstrative experiment]. *Fizyka v shkolakh Ukrayiny* [Physics in Ukrainian schools], 15–16, 30–39. (in Ukrainian).
7. Volovich, G. I. (2004). *Integral'nyye datchiki Kholla* [Hall effect sensors]. *Sovremennaya elektronika* [Modern electronics], 12, 26–31. (in Russian).
8. Galatiuk, Yu. M. (2007). *Doslidnyts'ka robota uchniv z fizyky* [Research work of students in physics]. *Osnova: "Triad+"*. (in Ukrainian).

9. Galatiuk, Yu. M., Rybalko, A. V., & Tischuk, V. I. (2007). Doslidnyts'ki zadachi z fizyky [Research exercises in physics]. Osnova. (in Ukrainian).
10. Gunko, L. M. (2015). Doslidy ta sposterezhennya u domashnikh zavdanniyakh iz fizyky [Experiments and observations in homework in physics]. *Physics*, 2, 27–31. (in Ukrainian).
11. Zadnipryanets, I. I. (2011). Suchasni tekhnolohiyi u vykladanni fizyky [Modern technologies in teaching physics]. Kyiv: Shkil'nyy svit. (in Ukrainian).
12. Zadnipryanets, I. I. (2014). Tekhnolohichnyy aspekt doslidnyts'koyi ta proektnoyi diyal'nosti v suchasniy seredniy shkoli [Technological aspect of research and project activities in modern middle school]. *Fizychna hazeta [Physical newspaper]*, 9, 2–5. (in Ukrainian).
13. Losyak, H. (2005). Fizychnyy eksperyment — klyuch do piznannya fizyky [Physical experiment — the key to learning physics]. *Physics*, 1. (in Ukrainian).

FORMATION OF PHYSICAL COMPETENCIES OF STUDENTS IN RESEARCH TASKS

R. M. Balabay, Ya. V. Gritsay

Kryvyi Rih State Pedagogical University, Kryvyi Rih, Ukraine

Abstract. Because physics is an experimental science, it is important in its teaching to provide an opportunity to experimentally study the patterns of natural phenomena. Physical task is an effective means of teaching physics. Solving physical problems contributes to the formation of many personal qualities and competencies of students: the development of practical skills, logical thinking, the ability to evaluate phenomena, make hypotheses and the development of creativity.

The purpose of this work was to develop an author's research problem for group work (under favorable conditions — class work) in high school on “Measuring the magnetic field strength using the Hall effect” from setting research objectives to analyzing its results, and disclosing the peculiarities of its use.

During the work, experiments were performed with a digital Hall sensor (SS41F series): the specification of the digital sensor, its principle of operation and block diagram, the behavior of the sensor in the absence of a magnetic field, and in the presence.

The SS41f sensor is bipolar, its output has two states — the output opens in the presence of a magnetic field of one pole and is closed by a magnetic field of the second pole. Thus, the digital Hall sensor can show the absence or presence of a magnetic field. It works as a “key” depending on the direction of the magnetic field. In one direction, “sensor key lock” was recorded, and in the case of polarity change, “opening” was recorded.

Thus, relatively simple experiments were proposed and performed, paying attention to the correct execution of the measurement process.

In the course of the proposed research task, students will learn to use a variety of devices to measure physical quantities, which will allow them to effectively master certain sections of physics and acquire skills and abilities to use a variety of physical devices.

Key words: research problems, conductor with current, magnetic field, Hall effect, Hall electromotive force sensor.

Citation as:

APA Balabai, R. M., & Hrytsai, Ya. V. (2021). Stanovlennia fizychnykh kompetentnostei uchniv u doslidnytskykh zadachakh [Formation of physical competencies of students in research tasks]. *Ekolohichnyi visnyk Kryvorizhzhia [Ecological Bulletin of Kryvyi Rih District]*, 6, 138–149. <https://doi.org/10.31812/eco-bulletin-krd.v6i0>.

**ДСТУ
8302:2015**

Балабай Р. М., Грицай Я. В. Становлення фізичних компетентностей учнів у дослідницьких задачах. *Екологічний Вісник Криворіжжя*. 2021. Вип. 6. С. 138–149.

ISSN 2664–505X (print)

ISSN 2664–5068 (online)

Екологічний вісник Криворіжжя : зб. наук. та наук.-метод. праць.
/ голов. ред. Я. В. Маленко. Кривий Ріг : Криворізький державний
педагогічний університет, 2021. Вип. 6. 150 с.

Наукове видання

ЕКОЛОГІЧНИЙ ВІСНИК КРИВОРІЖЖЯ

ЗБІРНИК НАУКОВИХ ТА
НАУКОВО-МЕТОДИЧНИХ ПРАЦЬ

Випуск 6

*Свідоцтво про державну реєстрацію друкованого засобу
масової інформації*

КВ № 24109–13949 ПР від 22.07.2019 р.

Підписано до друку 09.12.2021.

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

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

Адреса редакції та видавця:

Видавничий центр

Криворізького державного педагогічного університету

50086 Кривий Ріг, просп. Гагаріна, 54.

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

E-mail: kdpu@kdpu.edu.ua

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

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