

Міністерство освіти і науки України

ВІСНИК

*Харківського національного
університету імені В. Н. Каразіна*

Серія "Біологія"

Випуск 46

Започаткований у 1970 р.

THE JOURNAL

of V. N. Karazin Kharkiv

National University

Series Biology

Issue 46

Founded in 1970

Kharkiv-2026

УДК: 57

Засновник: Харківський національний університет імені В. Н. Каразіна

Рік заснування: 1970

Періодичність: двічі на рік

Вісник, серія «Біологія» є збірником наукових праць, який містить результати досліджень та оглядові статті з біології, зокрема з біохімії та генетики, зоології та ботаніки, фізіології тварин і рослин, мікології, мікробіології, ґрунтознавства, кріобіології та ін., а також матеріали про події наукового життя та описання оригінальних методів і приладів у галузі біології.

Для викладачів, наукових співробітників, аспірантів і студентів, які спеціалізуються у відповідних або суміжних галузях науки.

Вісник включений до Переліку фахових видань України, категорія «Б», за спеціальністю 091 Біологія (Наказ МОН України №1643 від 28.12.2019 р.), індексується у Google Scholar, Ulrich's Periodicals Directory, WorldCat, BASE, DOAJ, Web of Science (Zoological Record) та включений до Clarivate Analytics Master Journal List.

Затверджено до друку рішенням

Вченої ради Харківського національного університету імені В. Н. Каразіна
(протокол №5 від 20.05.2026).

Д. А. Шабанов – головний редактор, д.б.н., професор кафедри зоології та екології тварин, Харківський національний університет імені В. Н. Каразіна

Ю. Г. Гамуля – заступник головного редактора, к.б.н., доцент кафедри ботаніки та екології рослин, Харківський національний університет імені В. Н. Каразіна

Е. С. Пустовалова – відповідальний секретар, PhD в галузі знань Біологія, старший викладач кафедри генетики і цитології, Харківський національний університет імені В. Н. Каразіна

Члени редакційної колегії:

С. Ю. Утєвський – д.б.н., професор кафедри зоології та екології тварин, Харківський національний університет імені В. Н. Каразіна

О. Ю. Акулов – к.б.н., доцент кафедри мікології та фітоімунології, Харківський національний університет імені В. Н. Каразіна

О. І. Зіненко – к.б.н., доцент кафедри зоології та екології тварин, провідний науковий співробітник Музею природи, завідувач лабораторії систематики та еволюції біологічного факультету, Харківський національний університет імені В. Н. Каразіна

Н. О. Сибірна – д.б.н., професор кафедри біохімії, Львівський національний університет імені Івана Франка

О. О. Стасик – д.б.н., член-кореспондент НАНУ, завідувач відділу фізіології та екології фотосинтезу, Інститут фізіології рослин і генетики НАНУ

G. Ievinsh – Doctor of Science in Biology, Full Professor, University of Latvia (Латвія)

N. I. Ronkina – PhD in Biology, Scientific Researcher, Hannover Medical School (Німеччина)

A. Schmidt-Rhaesa – Doctor of Science in Biology, Full Professor, University of Hamburg (Німеччина)

Адреса редакції:

біологічний факультет,

Харківський національний університет імені В. Н. Каразіна, майдан

Свободи, 4, Харків, Україна, 61022

тел. +38 /057/ 707-55-71

<http://seriesbiology.univer.kharkov.ua>

e-mail: seriesbiology@karazin.ua

Статті пройшли рецензування.

Ідентифікатор медіа у Реєстрі суб'єктів у сфері медіа: R30-04474 (Рішення № 1538 від 09.05.2024 р. Національної ради України з питань телебачення і радіомовлення. Протокол № 15)

© Харківський національний університет
імені В. Н. Каразіна, оформлення, 2026

UDC: 57

Founder: V. N. Karazin Kharkiv National University

Year of foundation: 1970

Frequency: twice a year

The Journal of V.N.Karazin Kharkiv National University. Series Biology is a collection of scientific works featuring research results and review articles in biology. It covers topics such as biochemistry and genetics, zoology and botany, animal and plant physiology, mycology, microbiology, soil science, cryobiology, and others. Additionally, it includes materials on scientific events and descriptions of original methods and instruments in the field of biology.

It is intended for educators, researchers, postgraduate students, and undergraduate students specializing in relevant or related scientific fields.

The Journal is included in the List of Professional Publications of Ukraine, Category «B», under specialty 091 Biology (Order of the Ministry of Education and Science of Ukraine No. 1643, dated December 28, 2019). It is indexed in Google Scholar, Ulrich's Periodicals Directory, WorldCat, BASE, DOAJ, Web of Science (Zoological Record) and is part of the Clarivate Analytics Master Journal List.

Approved for publication by the decision of the Academic Council of V. N. Karazin Kharkiv National University (Protocol No. 5 dated May 20, 2026).

D. A. Shabanov – Editor-in-Chief, Dr, Professor of the Department of Zoology and Animal Ecology, V. N. Karazin Kharkiv National University

Yu. H. Hamulya – Deputy Editor-in-Chief, PhD in Biology, Associate Professor of the Department of Botany and Plant Ecology, V. N. Karazin Kharkiv National University

E. S. Pustovalova – Executive Secretary, PhD in Biology, Senior Lecturer of the Department of Genetics and Cytology, V. N. Karazin Kharkiv National University

Editorial Board Members:

S. Yu. Utevsky – Dr, Professor of the Department of Zoology and Animal Ecology, V. N. Karazin Kharkiv National University

O. Yu. Akulov – PhD in Biology, Associate Professor of the Department of Mycology and Phytoimmunology, V. N. Karazin Kharkiv National University

O. I. Zinenko – PhD, Associate Professor of the Department of Zoology and Animal Ecology, Head of the Laboratory of Systematics and Evolution, Faculty of Biology, V. N. Karazin Kharkiv National University, Leading Research Fellow at the Museum of Nature (Ukraine)

N. O. Sybirna – Dr, Professor of the Department of Biochemistry, Ivan Franko National University of Lviv

O. O. Stasik – Dr, Corresponding Member of NASU, Head of the Department of Physiology and Ecology of Photosynthesis, Institute of Plant Physiology and Genetics, NASU)

G. Ievinsh – Doctor of Science in Biology, Full Professor, University of Latvia (Lithuania)

N. I. Ronkina – PhD in Biology, Scientific Researcher, Hannover Medical School (Germany)

A. Schmidt-Rhaesa – Doctor of Science in Biology, Full Professor, University of Hamburg (Germany)

Editorial Address:

School of Biology,

V. N. Karazin Kharkiv National University,

Svobody Maidan, 4, Kharkiv, Ukraine, 61022

phone: +38 /057/ 707-55-71

<http://seriesbiology.univer.kharkov.ua>

e-mail: seriesbiology@karazin.ua

The articles are peer reviewed.

Media identifier in the Media Entities Register: R30-04474 (Decision No. 1538 dated 09.05.2024 of the National Council of Ukraine for Television and Radio Broadcasting. Protocol No. 15)

© V.N. Karazin Kharkiv National University,
design, 2026

... БОТАНІКА ...

- Фурсова К., Горпинченко М., Утевська О., Комариста В.** Молекулярна ідентифікація чотирьох штамів *Dunaliella* з України за допомогою маркера ITS2 / **6**

... ЗООЛОГІЯ ТА ЕКОЛОГІЯ ...

- Буяльська Н.П.** Перша знахідка *Mordellistena multicastrix* Kangas, 1986 (Coleoptera, Mordellidae) в Україні: морфологічний та екологічний аналіз / **15**

... МОДЕЛЮВАННЯ У БІОЛОГІЇ ...

- Нестеренко К.О., Головня Д.О., Кравченко М.О., Шорохова Е.А., Сидорова М.А., Сурма О.С., Шабанов Д.А.** Від пастки Мальтуса до демографічного переходу: освітні та наукові аспекти університетського курсу з моделювання / **23**

... ПРИКЛАДНІ АСПЕКТИ РЕГУЛЯЦІЇ РОСТУ, РОЗВИТКУ ТА ПРОДУКТИВНОСТІ РОСЛИН ...

- Віннікова О.І.** Вплив водних екстрактів рослин-продуцентів натуральних підсолоджувачів на ріст, антагоністичну та фітотоксичну активність ґрунтових мікроорганізмів / **43**

ПРИРОДНИЧІ МУЗЕЇ, КОЛЕКЦІЇ ТА МУЗЕЙНІ ПРАКТИКИ ...

- Грінінг-Гера К., Загороднюк І.** Феномен Олега Співакова – таксидерміста, художника, музейника / **54**
Тайкова С. Орнітологічні колекції часів Першої та Другої світових воєн у Національному науково-природничому музеї Національної академії наук України / **70**

... ФІЗІОЛОГІЯ ТА БІОХІМІЯ РОСЛИН ...

- Василенко А.О., Вус Н.О., Шевченко Л.М., Безугла О.М., Глянцев А.В., Скидан В.О., Зимогляд Ю.О.** Регуляція селективним світлом морфогенетичних реакцій *Glycine max* (L.) Merr. Ефективність штучного запилення у представників роду *Pisum* L. / **82**
Феденко В.С. Спектральні характеристики квіток декоративного виду *Ptelea trifoliata* L. / **93**

... ІНФОРМАЦІЯ ...

- Правила для авторів / 100**

... BOTANY ...

- Fursova K., Horpynchenko M., Utevska O., Komarysta V.** Molecular identification of four *Dunaliella* strains from Ukraine via ITS2 marker / **6**

... ZOOLOGY AND ECOLOGY ...

- Buialska N.P.** First record of *Mordellistena multicolor* Kangas, 1986 (Coleoptera, Mordellidae) in Ukraine: morphological and ecological analysis / **15**

... BIOLOGICAL MODELING ...

- Nesterenko K.O., Holovnia D.O., Kravchenko M.O., Shorokhova E.A., Sydorova M.A., Surma O.S., Shabanov D.A.** From Malthusian trap to demographic transition: educational and research aspects of a university simulation course / **23**

... PRACTICAL ASPECTS OF PLANTS GROWTH REGULATION, DEVELOPMENT AND PRODUCTIVITY ...

- Vinnikova O.I.** Effect of aqueous extracts from natural sweetener-producing plants on the growth and antagonistic and phytotoxic activity of soil microorganisms / **43**

... NATURAL HISTORY MUSEUMS, COLLECTIONS AND MUSEUM PRACTICES ...

- Hrininh-Hera K., Zagorodniuk I.** The phenomenon of Oleg Spivakov – taxidermist, artist, museologist / .. **54**
Tajkova S. Ornithological collections from the time of the First and Second World Wars at the National Museum of Natural History, National Academy of Sciences of Ukraine / **70**

... PLANT PHYSIOLOGY AND BIOCHEMISTRY ...

- Vasylenko A.O., Vus N.O., Shevchenko L.M., Bezuhla O.M., Hlyantsev A.V., Skydan V.O., Zimohlyad Yu.O.** The effectiveness of artificial pollination in various representatives of the genus *Pisum* L. / **82**
Fedenko S. Spectral characteristics of flowers of the ornamental species *Ptelea trifoliata* L. / **93**

... INFORMATION ...

- Author guidelines / 100**

••• БОТАНІКА ••• BOTANY •••

DOI: <https://doi.org/10.26565/2075-5457-2026-46-1>

UDC: 582.263:577.21:57.088

Molecular identification of four *Dunaliella* strains from Ukraine via ITS2 marker**K. Fursova, M. Horpynchenko, O. Utevska, V. Komarysta**

Species of the genus *Dunaliella* are model organisms in algal physiology and widely used in phycotechnologies for commercial production of bioactive compounds, particularly carotenoids (mainly β -carotene). Reliable species identification is challenging due to low morphological variability and the absence of distinct species-specific traits in *Dunaliella*. Common traits such as cell size, shape, and pigmentation are strongly influenced by environmental factors, often leading to misidentification in culture collections and complicating comparative and applied research. Molecular approaches have thus become essential for accurate species identification. However, molecular data on *Dunaliella* from Ukraine remain scarce. The internal transcribed spacer 2 (ITS2) region is particularly informative, combining conserved secondary structures with rapidly evolving primary sequences. This study performed molecular identification of four *Dunaliella* strains from the Cherniaev Herbarium MicroAlgae Culture Collection (CWU-MACC), V.N. Karazin Kharkiv National University, using the ITS2 marker. Species identification was performed based on sequence similarity and phylogenetic analysis. Among the four Ukrainian strains, only CWU-MACC-15 corresponded to *D. salina*, while the others, including CWU-MACC-16, previously identified as *D. salina*, were assigned to *D. viridis*. The ITS2 sequences of CWU-MACC-16 and CWU-MACC-20 were identical, whereas the Henichesk Lake isolate showed a minor ITS2 variation within *D. viridis*. These results provide a molecular basis for the taxonomy of *Dunaliella* strains from Ukraine and highlight the need for expanded sampling and additional molecular markers to further resolve species diversity and phylogenetic relationships.

Key words: *Chlorophyta*, *Dunaliella*, ITS2, DNA barcoding, phylogenetic analysis

Cite this article: Fursova K., Horpynchenko M., Utevska O., Komarysta V. Molecular identification of four *Dunaliella* strains from Ukraine via ITS2 marker. *The Journal of V. N. Karazin Kharkiv National University. Series Biology*, 2026, 46, 6–15. <https://doi.org/10.26565/2075-5457-2026-46-1>

About the authors:

Fursova K. – V. N. Karazin Kharkiv National University, 4, Svobody square, 61022, Kharkiv, Ukraine, k.v.fursova@gmail.com, <https://orcid.org/0009-0000-6241-8830>

Horpynchenko M. – V. N. Karazin Kharkiv National University, 4, Svobody square, 61022, Kharkiv, Ukraine, gorpynchenko@karazin.ua, <https://orcid.org/0000-0003-0362-6300>

Utevska O. – V. N. Karazin Kharkiv National University, 4, Svobody square, 61022, Kharkiv, Ukraine, outevska@karazin.ua, <https://orcid.org/0000-0002-5787-0467>

Komarysta V. – V. N. Karazin Kharkiv National University, 4, Svobody square, 61022, Kharkiv, Ukraine, v.p.komarysta@karazin.ua, <https://orcid.org/0000-0003-2830-0980>

Received: 16.02.2026 / Revised: 23.04.2026 / Accepted: 25.05.2026 / Published: 31.05.2026

Introduction

Representatives of the algal genus *Dunaliella* Teodoresco (Chlorophyta, Chlorophyceae, Volvocales, Dunaliellaceae) are widely used as model organisms to study algal physiology, including cellular tolerance to abiotic stresses, adaptation to hypersaline environments, low pH tolerance, and photosynthesis (Ben-Amotz, Avron, 1992; Gordillo et al., 2021; Ramachandran et al., 2023; Arora et al., 2025). *Dunaliella* cultures are also extensively used in phycotechnologies for the commercial production of bioactive compounds; the principal commercially valuable products are carotenoids (primarily β -carotene), lipids, glycerol, vitamins, and protein (Barbosa et al., 2023).

The genus *Dunaliella* comprises species with a simple, nearly uniform biflagellate morphology; cells lack a thick cell wall and other prominent qualitative species-specific traits (Oren, 2005). Morphological and morphometric characteristics, such as cell size, shape, and pigmentation, vary substantially with salinity, light intensity, temperature and other environmental conditions (Leung et al., 2022). This phenotypic plasticity often produces overlapping quantitative trait ranges among species (Preetha et al., 2012). Although *Dunaliella* species differ in ecological preferences (particularly with respect to salinity and light intensity), their niches frequently overlap as well (Oren, 2014). The combination of morphological similarity

and shared ecological preferences can lead to species misidentification and culture cross-contamination, which in turn may cause misinterpretation of experimental data or reduced yields in industrial cultures.

Given the limitations of morphology-based identification, molecular methods provide a reliable alternative for validating or revising taxonomic assignments. Commonly applied molecular barcodes for *Dunaliella* include plastid genes (*rbcl*, *tufA*) and ribosomal markers (ITS1, 5.8S rRNA, ITS2, LSU, and SSU rRNA) (Highfield et al., 2021). The internal transcribed spacer 2 (ITS2) is particularly informative because its conserved secondary structure provides phylogenetic information complementary to primary nucleotide sequence variation (Buchheim et al., 2011).

Although *Dunaliella* has been frequently reported from hypersaline environments in Ukraine (Massjuk & Lilitka, 2011), these records are based almost exclusively on morphological identification. Modern molecular phylogenetic studies of the genus have highlighted limited geographic sampling and the need for broader strain coverage (Assunção et al., 2012), and notably do not include isolates from Ukraine, leaving the taxonomic identity of Ukrainian *Dunaliella* largely unverified at the molecular level. Furthermore, species names assigned to *Dunaliella* strains in culture collections are often uncertain (Borowitzka, Siva, 2007).

The objective of this study was to assess the species attribution of *Dunaliella* strains originating from Ukraine and maintained in a culture collection, using ITS2 sequence analysis.

Objects and methods of research

Strains

Four *Dunaliella* strains of Ukrainian origin were selected for this study, that are maintained in the Cherniaev Herbarium MicroAlgae Culture Collection (CWU-MACC), V.N. Karazin Kharkiv National University, registered in the World Data Centre for Microorganisms as WDCM 886 collection. The studied material included three subcultures originally obtained from other culture collections several decades ago, as well as one strain of *Dunaliella* sp. isolated from Henichesk Salt Lake (Table 1). The cultures were grown in the Artari nutrient medium modified by Massjuk (Massjuk, 1973) in a light cabinet equipped with neutral-light LED lamps, at 2 klx, with a 16-h light and 8-h dark photoperiod. The temperature was maintained within the range of 20-28 °C.

DNA extraction, ITS2 amplification, and sequencing

DNA was extracted from the pelletized by centrifugation algal biomass using the NeoPrep DNA Plant kit (Neogene, Ukraine) in accordance with the manufacturer's instructions. For amplification of the ITS2 region, a pair of universal primers was used: ITS2-2F (5'-ATGCGATACTTGGTGTGAAT-3') and ITS2-3R (5'-GACGCTTCTCCAGACTACAAT-3') (Sun, Chen, 2013; Yu et al., 2017). The expected amplicon size (~488-492 bp) was estimated based on primer binding positions identified by BLAST primer analysis of published *Dunaliella* rDNA sequences. PCR of the ITS2 region was performed with an initial denaturation at 94 °C for 5 min, followed by 35 cycles of 94 °C for 30 s, 56 °C for 30 s, and 72 °C for 45 s, and a final extension at 72 °C for 10 min. Bidirectional Sanger sequencing of the resulting amplicons (457-459 bp) was performed by Macrogen Inc. (South Korea) using an Applied Biosystems 3730XL DNA Analyzer.

Bioinformatic pipelines

Raw sequence reads were processed in BioEdit (Hall, 1999): low-quality caps trimmed, and forward and reverse strands were assembled using the CAP contig assembly module. Sequences were submitted to GenBank (O'Leary et al., 2016) under accession numbers PX977794-PX977797.

All 420 ITS2-containing rDNA sequences of *Dunaliella* retrieved from GenBank were combined with the newly generated sequences into a single dataset. The phylogenetically informative ITS2 region was delimited from the highly conserved flanking 5.8S and 28S motifs using the ITS2 Database annotation tool (Keller et al., 2009). This tool employs hidden Markov models (HMMs) to identify the 25 bp motif of the ITS2 proximal stem. For annotation, the "Viridiplantae" model was selected, with an E-value threshold < 0.01 and a minimum ITS2 length of 150 nucleotides. Secondary structure models of ITS2 and its proximal stem were predicted using the ITS2 Database prediction tool based on minimum free energy folding constrained by ITS2 profile HMMs (Schultz et al., 2005). Cropping the flanking motifs and the proximal stem yielded the dataset of strict ITS2 region sequences; only 225 of the initial 420 GenBank sequences contained complete ITS2 regions and were retained for further analysis.

Non-redundant sequences were extracted from the strict ITS2 dataset by clustering with CD-HIT (Li, Godzik, 2006) (Galaxy Version 4.8.1+galaxy0) on the public European Galaxy server (Jalili et al., 2020). Clustering parameters were set as follows: sequence identity threshold of 100% (1.0), local sequence

identity mode, and a minimum alignment coverage fraction for the shorter sequence (-aS) of 1.0, while all other settings were kept at their default values. Extracted non-redundant ITS2 sequences were aligned using LocARNA (Will et al., 2007), which incorporates RNA secondary structure information into multiple sequence alignment. Phylogenetic relationships were inferred using the Maximum Likelihood (ML) method implemented in IQ-TREE (Nguyen et al., 2015). The best-fitting nucleotide substitution model (SYM+I+R3) was selected automatically based on the Bayesian Information Criterion (BIC). Branch support was assessed using 1000 ultrafast bootstrap replicates (Hoang et al., 2018).

Species identification was performed based on a combination of sequence similarity searches against GenBank and phylogenetic analysis. ITS2 sequences of the studied strains were compared with reference sequences in GenBank, and assignment to a species was made when 100% sequence identity with a named reference was observed and supported by phylogenetic clustering with the corresponding taxa.

Results and discussion

The dataset of 227 complete ITS2 sequences collapsed into 97 unique sequence types. Of these, 28 represented clusters of identical sequences, each containing between 2 and 50 entries, while the remaining 69 sequences were unique and ungrouped. The four newly sequenced Ukrainian strains exhibited 100% ITS2 sequence similarity with GenBank entries annotated at the species level (Table 1), and their taxonomic assignment was further supported by phylogenetic analysis (Fig. 1).

Table 1. Representative ITS2 sequence clusters identified by CD-HIT at 100% sequence identity, containing the studied *Dunaliella* strains

GenBank Accession Number	GenBank species ID	Strain	Country of isolation
<i>Cluster of Dunaliella salina</i>			
PX977795	<i>D. salina</i>	CWU-MACC-15	Ukraine (this study)
MW471055	<i>Dunaliella</i> sp.	CCAP 19/15	Israel
DQ116740	<i>D. salina</i>	OUC 38	China
DQ116741	<i>D. salina</i>	OUC 66	China
DQ116742	<i>D. salina</i>	"Inner-mongolia" (hd 5)	China
DQ116743	<i>D. salina</i>	"Israel" (hd 6)	Israel
		SK-2019 isolate	
MN628171	<i>Dunaliella</i> sp.	Bazangan_Lake3	Iran
JQ080301	<i>Dunaliella</i> sp.	ABRIINW-UB	Iran
KF573420	<i>D. salina</i>	RR102	India
GQ337903	<i>D. salina</i>	MSI-1	Iran
JX014241	<i>D. salina</i>	MSI-2	Iran
KX870020	<i>Dunaliella</i> sp.	ABRIINW-B1	Iran
KC477401	<i>D. salina</i>	MSI-3	Iran
KJ756826	<i>D. salina</i>	CCAP 19/12	Israel-
MH880103	<i>Dunaliella</i> sp.	ABRIINW-I1	Iran
FJ164063	<i>Dunaliella</i> sp.	ABRIINW U1/1	Iran
JX134754	<i>Dunaliella</i> sp.	ABRIINW-G4	Iran
KJ094621	<i>Dunaliella</i> sp.	CCAP 19/15	Israel
AY512973	<i>D. salina</i>	DCCBC2	South Korea
KF229733	<i>D. salina</i>	ATCC 30861	Israel
OQ418484	<i>D. minutissima</i>	TAU-MAC 1220	Greece
<i>Cluster 1 of Dunaliella viridis</i>			
PX977796	<i>D. viridis</i>	CWU-MACC-16	Ukraine (this study)
PX977794	<i>D. viridis</i>	CWU-MACC-20	Ukraine (this study)
HQ864830	<i>D. viridis</i>	MSV-1	Iran
JN587238	<i>Dunaliella</i> sp.	ABRIINW-S1.5	Iran
JN383918	<i>Dunaliella</i> sp.	ABRIINW-Sh1.2	Iran
<i>Cluster 2 of Dunaliella viridis</i>			
PX977797	<i>D. viridis</i>	CWU-MACC-17	Ukraine (this study)
MH399207	<i>D. viridis</i>	DU3	Iran
AY828228	<i>D. viridis</i>	SAG 44.89	Ukraine

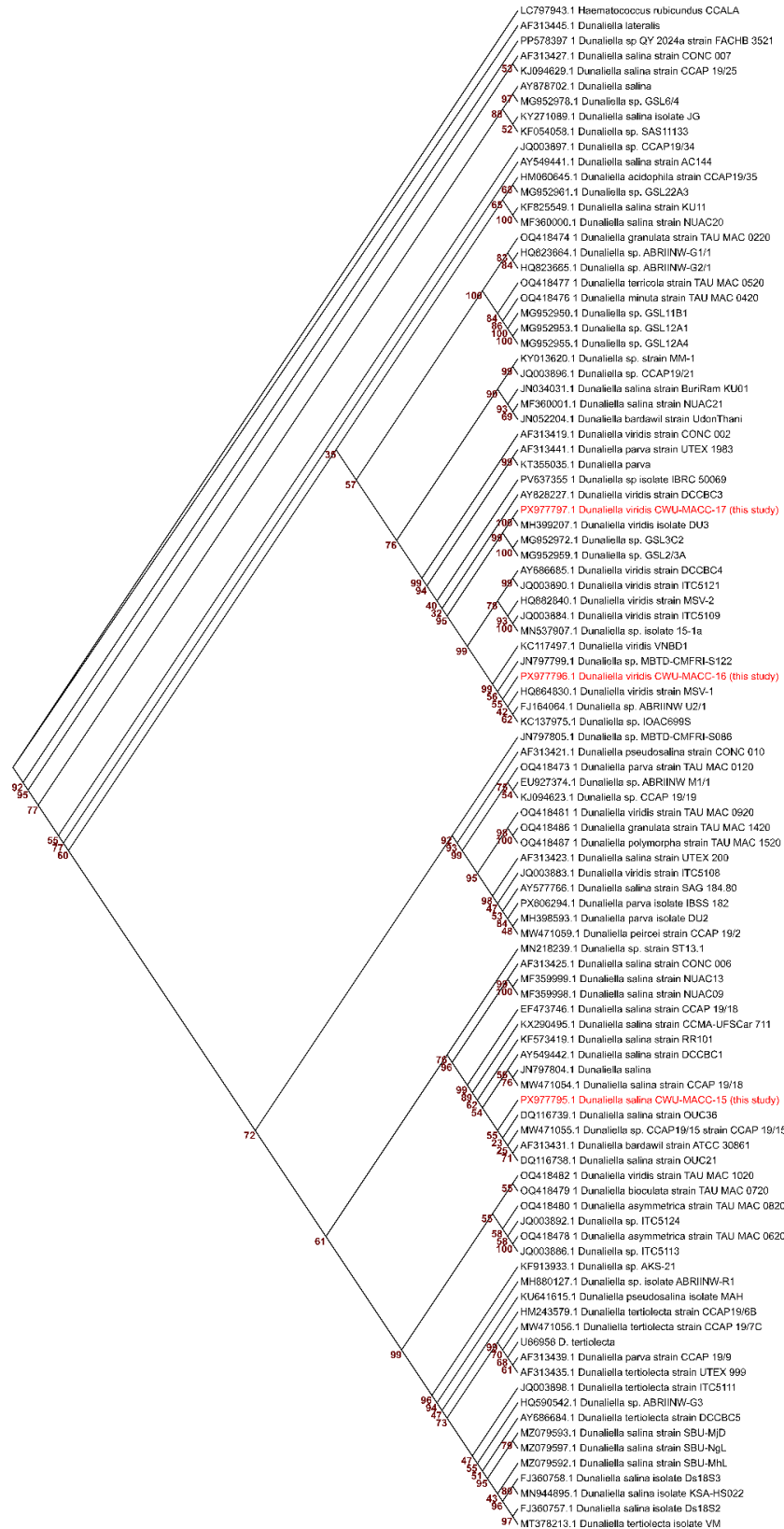


Fig. 1. Maximum Likelihood phylogenetic tree of *Dunaliella* based on ITS2 sequences (LocARNA alignment; SYM+I+R3 model). Numbers at the nodes indicate ultrafast bootstrap support values (1000 replicates). Identical ITS2 sequences belonging to the same CD-HIT cluster (Table 1) were represented in the phylogenetic tree by the first sequence of each cluster

The strain CWU-MACC-15 showed 100% ITS2 sequence identity with multiple GenBank entries annotated as *Dunaliella salina* (Table 1), all originated from southern Europe and Asia (Greece, Israel, Iran, China, South Korea), and fell within the corresponding clade together with well-characterized culture collection strains such as CCAP 19/18 (*Dunaliella Salina*. (n.d.), *Phytozome*_(n.d.)) (Fig. 1), supporting its identification. For *D. salina*, no universally accepted authentic molecular reference strain appears to exist, and current species identification therefore relies on comparison with well-characterized culture collection strains. The CD-HIT clusters included strains from geographically diverse regions, suggesting a broad distribution of the identified ITS2 sequence type. At the same time, the presence of sequences annotated as *Dunaliella* sp. or other taxa within the same cluster reflects inconsistencies in public database annotations or the known taxonomic complexity of *D. salina* (Borowitzka & Siva, 2007; Assunção et al., 2012). The other three strains, including CWU-MACC-16 (previously classified as *D. salina*, Table 2), were assigned to *D. viridis*. The ITS2 sequences of CWU-MACC-16 and CWU-MACC-20 were identical, indicating that they represent the same ITS2 haplotype. The isolate from Henichesk Salt Lake, CWU-MACC-17, displayed minor ITS2 sequence variation relative to CWU-MACC-16 and CWU-MACC-20 strains, comprising eight SNPs at positions 16, 29, 38, 39, 78, 87, 223, and 224. The ITS2 region folds into a conserved RNA secondary structure consisting of a proximal stem followed by four helices (Zhang et al., 2015). The structure is stabilized by compensatory base changes (CBCs) in paired regions and variable loops in the distal parts (Coleman, 2009) (Fig. 2). All substitutions in CWU-MACC-17 were located in loop or distal stem regions and did not affect the conserved species-specific secondary structure (Fig. 2). All three strains fell into CD-HIT *D. viridis* clusters together with isolates from Iran. Henichesk Salt Lake isolate CWU-MACC-17 also appeared to have 100% ITS2 sequence identity with one of a few sequenced *Dunaliella* strains of Ukrainian origin, an authentic strain (SAG 44.89 *Dunaliella viridis*, n.d.) (Table 1). Furthermore, all three

Table 2. Molecular identification of Ukrainian *Dunaliella* strains based on ITS2 sequences

CWU-MACC ID	Original strain ID	Original Identification	Source / Origin	ITS2 Sequence Length (bp)	Accession number	Closest GenBank Match	% Identity	Final Identification
CWU-MACC-15	IBSS-1	<i>D. salina</i>	Syvash bay, Crimea, 2001, obtained from A.O. Kovalevsky Institute of Biology of the Southern Seas, National Academy of Sciences of Ukraine, Sevastopol, 2005	237	PX977795	<i>D. salina</i> ATCC 30861 KF229733	100%	<i>D. salina</i>
CWU-MACC-16	IBASU-A D-11	<i>D. salina</i>	Heroiske salt works (Prohnoi), Kherson oblast, 1962, obtained from M. G. Kholodny Institute of Botany, National Academy of Sciences of Ukraine, Kyiv, 1995	232	PX977796	<i>D. viridis</i> MSV-1 HQ864830	100%	<i>D. viridis</i>
CWU-MACC-20	IBASU-A D-29	<i>D. viridis</i>	Sasyk-Syvash salt works, Crimea, 1965, obtained from M.G. Kholodny Institute of Botany, National Academy of Sciences of Ukraine, Kyiv, 1989	232	PX977794	<i>D. viridis</i> MSV-1 HQ864830	100%	<i>D. viridis</i>
CWU-MACC-17	Henichesk Salt Lake	<i>Dunaliella</i> sp.	Henichesk Salt Lake, Kherson Oblast, 2020, original isolate	232	PX977797	<i>D. viridis</i> SAG 44.89 AY828228	100%	<i>D. viridis</i>

Note: CWU-MACC accession numbers are given according to (Komarysta, 2021)

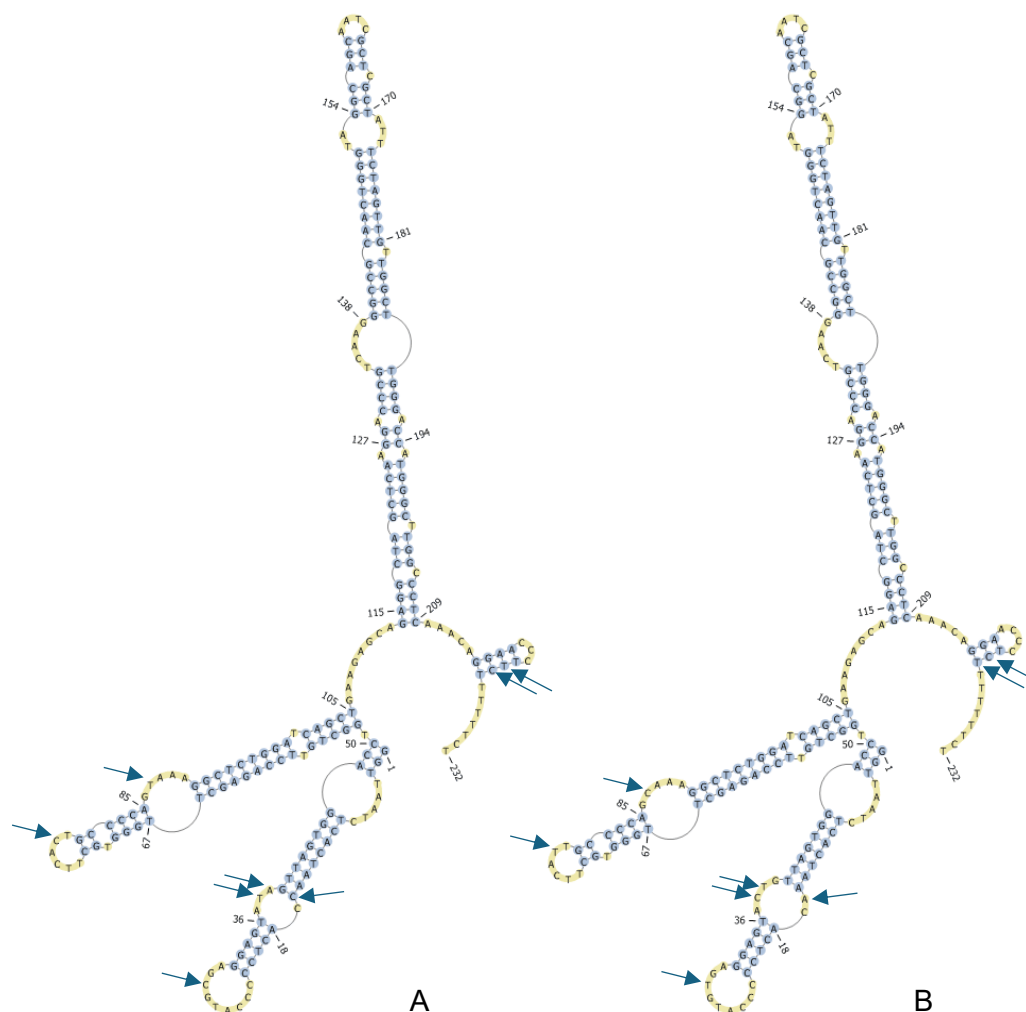


Fig. 2. Secondary structure models for ITS2: *Dunaliella viridis* CWU-MACC-16 and CWU-MACC-20 (A), *D. viridis* Henichesk Salt Lake isolate CWU-MACC-17 (B). The structures are shown using DNA notation (T instead of U), as provided by the ITS2 Database. Arrows indicate single nucleotide polymorphisms

putative *D. viridis* strains belonged to a common phylogenetic clade with another *D. viridis* reference strain ITC5109 (Assunção et al., 2013) (Fig. 1). As in the case of *D. salina*, the presence of sequences annotated as *Dunaliella* sp. within these clusters reflects inconsistencies in GenBank annotations and warrants cautious interpretation.

The previous identification of *D. salina* CWU-MACC-15, derived from strain IBSS-1, by morphological (cell size and shape) and biochemical (ability to turn brick-orange due to accumulation of β -carotene) traits was confirmed (Table 2). On the other hand, the results of phylogenetic analysis suggest that strain CWU-MACC-16, originated from IBASU-A D-11, appears to have been previously misidentified as *D. salina* or affected by cross-contamination prior to the present study. This conclusion is supported by the earlier observation that this strain lacks the ability to change cell color, which is a typical trait of *D. salina* due to β -carotene accumulation (Pasiuga et al., 2013).

Despite the presence of many habitats suitable for *Dunaliella* in Ukraine, especially in the near-Black Sea region, and the extensive work of N. P. Massjuk (1973), the internationally recognized monographer of the genus *Dunaliella* (Oren, 2005), molecular data on Ukrainian *Dunaliella* strains remain scarce and sometimes ambiguous. Overall, this study provides a molecular insight into the diversity of *Dunaliella* in Ukraine, supporting future research on species distribution and the genetic basis of important physiological traits and highlighting the importance of molecular confirmation of morphologically identified strains in culture collections used for experimental studies.

Conclusions

Among four Ukrainian *Dunaliella* strains from the CWU-MACC collection, two species were identified based on ITS2 sequence analysis: *D. salina* (one strain, CWU-MACC-15) and *D. viridis* (three strains, CWU-MACC-16, CWU-MACC-20, and the isolate from Henichesk Salt Lake, CWU-MACC-17). The strain CWU-MACC-16, previously identified as *D. salina*, was re-identified as *D. viridis*.

While this study provides initial molecular insights into Ukrainian *Dunaliella*, its main limitations include the small number of strains analyzed and the use of a single marker (ITS2). Future studies should expand both strain sampling and the set of molecular markers to improve taxonomic resolution.

References

- Arora N., Tripathi S., Philippidis G. P., Kumar S. (2025). Thriving in extremes: Harnessing the potential of pH-resilient algal strains for enhanced productivity and stability. *Environmental Science: Advances*, 4(6), 884–900. <https://doi.org/10.1039/D4VA00247D>
- Assunção P., Jaén-Molina R., Caujapé-Castells J., De La Jara A., Carmona L., Freijanes K., Mendoza H. (2012). Molecular taxonomy of *Dunaliella* (Chlorophyceae), with a special focus on *D. salina*: ITS2 sequences revisited with an extensive geographical sampling. *Aquatic Biosystems*, 8(1), 2. <https://doi.org/10.1186/2046-9063-8-2>
- Assunção P., Jaén-Molina R., Caujapé-Castells J., Wolf M., Buchheim M. A., De La Jara A., Freijanes K., Carmona L., Mendoza H. (2013). Phylogenetic analysis of ITS2 sequences suggests the taxonomic restructuring of *Dunaliella viridis* (Chlorophyceae, Dunaliellales). *Phycological Research*, 61(2), 81–88. <https://doi.org/10.1111/pre.12003>
- Barbosa M., Inácio L. G., Afonso C., Maranhão P. (2023). The microalga *Dunaliella* and its applications: A review. *Applied Phycology*, 4(1), 99–120. <https://doi.org/10.1080/26388081.2023.2222318>
- Avron M., Ben-Amotz A. (Ed.). (1992). *Dunaliella: Physiology, biochemistry, and biotechnology*. CRC Press.
- Borowitzka M. A., Siva C. J. (2007). The taxonomy of the genus *Dunaliella* (Chlorophyta, Dunaliellales) with emphasis on the marine and halophilic species. *Journal of Applied Phycology*, 19(5), 567–590. <https://doi.org/10.1007/s10811-007-9171-x>
- Buchheim M. A., Keller A., Koetschan C., Förster F., Merget B., Wolf M. (2011). Internal Transcribed Spacer 2 (nu ITS2 rRNA) Sequence-structure phylogenetics: Towards an automated reconstruction of the green algal tree of life. *PLoS ONE*, 6(2), e16931. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0016931>
- Coleman A. W. (2009). Is there a molecular key to the level of “biological species” in eukaryotes? A DNA guide. *Molecular Phylogenetics and Evolution*, 50(1), 197–203. <https://doi.org/10.1016/j.ympev.2008.10.008>
- Dunaliella Salina*. (n.d.). CCAP. Retrieved January 2026 from <https://www.ccap.ac.uk/catalogue/strain-19-18?mfp=61-archived%5BAvailable%5D&search=Dunaliella>
- Gordillo F. J. L., Jiménez C., Chavarría, J., Xavier Niell F. (2001). Photosynthetic acclimation to photon irradiance and its relation to chlorophyll fluorescence and carbon assimilation in the halotolerant green alga *Dunaliella viridis*. *Photosynthesis Research*, 68(3), 225–235. <https://doi.org/10.1023/A:1012969324756>
- Highfield A., Ward A., Pipe R., Schroeder D. C. (2021). Molecular and phylogenetic analysis reveals new diversity of *Dunaliella salina* from hypersaline environments. *Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom*, 101(1), 27–37. <https://doi.org/10.1017/S0025315420001319>
- Hoang D. T., Chernomor O., Von Haeseler A., Minh B. Q., Vinh L. S. (2018). UFBoot2: Improving the ultrafast bootstrap approximation. *Molecular Biology and Evolution*, 35(2), 518–522. <https://doi.org/10.1093/molbev/msx281>
- Jalili V., Afgan E., Gu Q., Clements D., Blankenberg D., Goecks J., Taylor J., Nekrutenko A. (2020). The Galaxy platform for accessible, reproducible and collaborative biomedical analyses: 2020 update. *Nucleic Acids Research*, 48(14), 8205–8207. <https://doi.org/10.1093/nar/gkaa554>
- Keller A., Schleicher T., Schultz J., Müller T., Dandekar T., Wolf M. (2009). 5.8S-28S rRNA interaction and HMM-based ITS2 annotation. *Gene*, 430(1–2), 50–57. <https://doi.org/10.1016/j.gene.2008.10.012>
- Komarysta V.P. (2021) Collection of live cultures of microalgae in the herbarium of V.N. Karazin Kharkiv National University (CWU). Herbaria of the 21st century: achievements and challenges. Proceedings of International Scientific Conference dedicated to the 100th anniversary of the National Herbarium of Ukraine (KW) – the Herbarium of M.G. Kholodny Institute of Botany, NAS of Ukraine (1 October 2021, Kyiv). – Kyiv: M.G. Kholodny Institute of Botany, NAS of Ukraine, 2021. p. 64-68. (In Ukrainian)
- Leung C., Grulois D., Chevin L. (2022). Plasticity across levels: Relating epigenomic, transcriptomic, and phenotypic responses to osmotic stress in a halotolerant microalga. *Molecular Ecology*, 31(18), 4672–4687. <https://doi.org/10.1111/mec.16542>
- Li W., Godzik A. (2006). Cd-hit: A fast program for clustering and comparing large sets of protein or

- nucleotide sequences. *Bioinformatics*, 22(13), 1658—1659. <https://doi.org/10.1093/bioinformatics/btl158>
- Massjuk N.P. (1973). Morphology, taxonomy, ecology and geographic distribution of the genus *Dunaliella* Teod. and prospects for its potential utilization. Kiev, Naukova Dumka.
- Massjuk N.P., Liliiska G.G. (2011). Dunaliellales. In: *Algae of Ukraine: diversity, nomenclature, taxonomy, ecology and geography*. Volume 3: Chlorophyta. (Tsarenko P.M., Wasser S.P., Nevo E. Eds), pp. 152-157. Ruggell: A.R.A. Gantner Verlag K.-G.
- Nguyen L.-T., Schmidt, H. A., Von Haeseler, A., & Minh, B. Q. (2015). IQ-TREE: A Fast and Effective Stochastic Algorithm for Estimating Maximum-Likelihood Phylogenies. *Molecular Biology and Evolution*, 32(1), 268—274. <https://doi.org/10.1093/molbev/msu300>
- O'Leary N. A., Wright M. W., Brister J. R., Ciupo S., Haddad D., McVeigh R., Rajput B., Robbertse B., Smith-White B., Ako-Adjei D., Astashyn A., Badretdin A., Bao Y., Blinkova O., Brover V., Chetvernin V., Choi J., Cox E., Ermolaeva O., Farrell C. M., Goldfarb T., Gupta T., Haft D., Hatcher E., Hlavina W., Joardar V. S., Kodali V. K., Li W., Maglott D., Masterson P., McGarvey K. M., Murphy M. R., O'Neill K., Pujar S., Rangwala S. H., Rausch D., Riddick L. D., Schoch C., Shkeda A., Storz S. S., Sun H., Thibaud-Nissen F., Tolstoy I., Tully R. E., Vatsan A. R., Wallin C., Webb D., Wu W., Landrum M. J., Kimchi A., Tatusova T., DiCuccio M., Kitts P., Murphy T. D., Pruitt K. D. (2016). Reference sequence (RefSeq) database at NCBI: Current status, taxonomic expansion, and functional annotation. *Nucleic Acids Research*, 44(D1), D733—D745. <https://doi.org/10.1093/nar/gkv1189>
- Oren A. (2005). A hundred years of *Dunaliella* research: 1905–2005. *Saline Systems*, 1(1), 2. <https://doi.org/10.1186/1746-1448-1-2>
- Oren A. (2014). The ecology of *Dunaliella* in high-salt environments. *Journal of Biological Research-Thessaloniki*, 21(1), 23. <https://doi.org/10.1186/s40709-014-0023-y>
- Pasiuga O.S., Antonenko S.P., Komaristaya V.P., Rudas A.N. (2013). Variability of cultural and morphological traits of *Dunaliella salina* Teod. from different habitats. *The Journal of V. N. Karazin Kharkiv National University. Series Biology*, 18 (1079), 54–63.
- Phytozome. (n.d.). Phytozome. Retrieved January 2026 from https://phytozome-next.jgi.doe.gov/info/Dsalina_v1_0
- Preetha K., John L., Subin C. S., Vijayan K. K. (2012). Phenotypic and genetic characterization of *Dunaliella* (Chlorophyta) from Indian salinas and their diversity. *Aquatic Biosystems*, 8(1), 27. <https://doi.org/10.1186/2046-9063-8-27>
- Ramachandran P., Pandey N. K., Yadav R. M., Suresh P., Kumar, A., Subramanyam R. (2023). Photosynthetic efficiency and transcriptome analysis of *Dunaliella salina* under hypersaline: A retrograde signaling mechanism in the chloroplast. *Frontiers in Plant Science*, 14, 1192258. <https://doi.org/10.3389/fpls.2023.1192258>
- SAG 44.89 *Dunaliella viridis*. (n.d.). SAG catalogue of strains. Retrieved January 2026 from https://sagdb.uni-goettingen.de/detailedList.php?str_number=44.89
- Schultz J., Maisel S., Gerlach D., Müller T., Wolf M. (2005). A common core of secondary structure of the internal transcribed spacer 2 (ITS2) throughout the Eukaryota. *RNA*, 11(4), 361—364. <https://doi.org/10.1261/rna.7204505>
- Sun Z., Chen S. (2013). Identification of cortex herbs using the DNA barcode nrITS2. *Journal of Natural Medicines*, 67(2), 296—302. <https://doi.org/10.1007/s11418-012-0681-8>
- Will S. (2024). LocARNA 2.0: Versatile simultaneous alignment and folding of RNAs. In R. Lorenz (Ed.), *RNA Folding* (V. 2726, P. 235—254). Springer US. https://doi.org/10.1007/978-1-0716-3519-3_10
- Yu N., Wei Y., Zhang X., Zhu N., Wang Y., Zhu Y., Zhang H., Li F., Yang L., Sun J., Sun A. (2017). Barcode ITS2: A useful tool for identifying *Trachelospermum jasminoides* and a good monitor for medicine market. *Scientific Reports*, 7(1), 5037. <https://doi.org/10.1038/s41598-017-04674-w>
- Zhang W., Yuan Y., Yang S., Huang J., Huang L. (2015). ITS2 secondary structure improves discrimination between medicinal “Mu Tong” species when using DNA barcoding. *PLOS ONE*, 10(7), e0131185. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0131185>

Молекулярна ідентифікація чотирьох штамів *Dunaliella* з України за допомогою маркера ITS2

К. Фурсова, М. Горпинченко, О. Утевська, В. Комариста

Види роду *Dunaliella* є модельними об'єктами у фізіології водоростей і широко використовуються у фікотехнологіях для промислового виробництва біологічно активних сполук, зокрема каротиноїдів (передусім β-каротину). Надійна видова ідентифікація ускладнена через низьку морфологічну варіабельність і відсутність чітких видоспецифічних ознак у *Dunaliella*. Такі ознаки, як розмір клітин, форма та пігментація, значною мірою залежать від умов середовища, що часто призводить до помилкової ідентифікації в колекціях культур і

ускладнює порівняльні та прикладні дослідження. Тому молекулярні підходи стали необхідними для точної видової ідентифікації. Водночас молекулярні дані щодо *Dunaliella* з території України залишаються обмеженими. Ділянка внутрішнього транскрибованого спейсера 2 (ITS2) є особливо інформативною, оскільки поєднує консервативні елементи вторинної структури з швидко еволюціонуючими первинними послідовностями. У цьому дослідженні проведено молекулярну ідентифікацію чотирьох штамів *Dunaliella* з колекції мікроводоростей гербарію Черняєва (Cherniaev Herbarium MicroAlgae Culture Collection, CWU-MACC) Харківського національного університету імені В.Н. Каразіна з використанням маркера ITS2. Визначення видової належності здійснювали на основі подібності послідовностей і філогенетичного аналізу. Серед чотирьох українських штамів лише CWU-MACC-15 відповідав *D. salina*, тоді як решта, включно з CWU-MACC-16, який раніше був ідентифікований як *D. salina*, були віднесені до *D. viridis*. Послідовності ITS2 штамів CWU-MACC-16 і CWU-MACC-20 були ідентичними, тоді як ізолят з Генічеського солоного озера демонстрував незначну варіацію ITS2 у межах *D. viridis*. Отримані результати створюють молекулярну основу для таксономії штамів *Dunaliella* з України та підкреслюють необхідність розширення вибірки штамів і використання додаткових молекулярних маркерів для кращого розкриття видового різноманіття та філогенетичних зв'язків.

Ключові слова: *Chlorophyta*, *Dunaliella*, ITS2, ДНК-баркодинг, філогенетичний аналіз

Цитування: Fursova K., Horpynchenko M., Utevska O., Komarysta V. Molecular identification of four *Dunaliella* strains from Ukraine via ITS2 marker. Вісник Харківського національного університету імені В.Н. Каразіна. Серія «Біологія», 2026, 46, 6–15. <https://doi.org/10.26565/2075-5457-2026-46-1>

Про авторів:

Фурсова К. – Харківський національний університет імені В. Н. Каразіна, майдан Свободи, 4, 61022, м. Харків, Харківська область, Україна, k.v.fursova@gmail.com, <https://orcid.org/0009-0000-6241-8830>
Горпинченко М. – Харківський національний університет імені В. Н. Каразіна, майдан Свободи, 4, 61022, м. Харків, Харківська область, Україна, gorpynchenko@karazin.ua, <https://orcid.org/0000-0003-0362-6300>
Утевська О. – Харківський національний університет імені В. Н. Каразіна, майдан Свободи, 4, 61022, м. Харків, Харківська область, Україна, outevska@karazin.ua, <https://orcid.org/0000-0002-5787-0467>
Комариста В. – Харківський національний університет імені В. Н. Каразіна, майдан Свободи, 4, 61022, м. Харків, Харківська область, Україна, v.p.komarysta@karazin.ua, <https://orcid.org/0000-0003-2830-0980>

Authors contribution: K. Fursova performed DNA extraction and amplification, bioinformatic data analysis, visualization of results, preparation of the first draft of the manuscript, and manuscript editing. M. Horpynchenko performed DNA extraction and amplification, provided funding within the framework of the research project No. 1-16-25 “DNA barcoding as an effective method for biomonitoring of freshwater bodies under climate change and the impact of military activities” (state registration No. 0125U001468), and participated in manuscript editing. O. Utevska was responsible for the conceptualization and methodological design of the study and participated in manuscript editing. V. Komarysta performed strain cultivation, submission of sequences to GenBank, visualization of analytical results, manuscript editing, and overall scientific supervision of the study. / **Внесок авторів:** К. Фурсова здійснювала екстракцію та ампліфікацію ДНК, біоінформатичний аналіз даних, візуалізацію результатів, підготовку першої версії рукопису та редагування тексту. М. Горпинченко здійснював екстракцію та ампліфікацію ДНК, забезпечував фінансування дослідження в межах НДР № 1-16-25 «ДНК-баркодинг як ефективний метод біомоніторингу прісних водойм в умовах зміни клімату та впливу військових дій» (державний реєстраційний номер № 0125U001468) та брав участь у редагуванні рукопису. О. Утевська відповідала за концептуалізацію та методологічне забезпечення дослідження, а також брала участь у редагуванні рукопису. В. Комариста здійснювала культивування штамів, депонування послідовностей у GenBank, візуалізацію результатів аналізу, редагування рукопису та загальне наукове керівництво дослідженням.

Conflict of interest: The authors declare no conflict of interest. / **Конфлікт інтересів:** Автори заявляють про відсутність конфлікту інтересів.

Use of Artificial Intelligence: The authors certify that no generative artificial intelligence tools were used in the conduct of the research or in the preparation of this manuscript. / **Використання штучного інтелекту:** Автори засвідчують, що під час проведення дослідження та підготовки цього рукопису генеративний штучний інтелект не використовувався.

Подано до редакції: 16.02.2026 / Прорецензовано: 23.04.2026 / Прийнято до друку: 25.05.2026 / Оприлюднено: 31.05.2026

••• ЗООЛОГІЯ ТА ЕКОЛОГІЯ ••• ZOOLOGY AND ECOLOGY •••

DOI: <https://doi.org/10.26565/2075-5457-2026-46-2>
УДК: 595.767.22(477)**Перша знахідка *Mordellistena multicatrix* Kangas, 1986 (Coleoptera, Mordellidae) в Україні: морфологічний та екологічний аналіз**
Н.П. Буяльська

Mordellistena multicatrix Kangas, 1986, вперше вказується для фауни України. Нині в Україні знайдено 4 види жуків-горбаток з групи *pentas* (запропонованої К. Ермішем у 1956 році): *M. secreta* Horák, 1983, *M. pentas* Mulsant, 1856, *M. dalmatica* Ermisch, 1956 та *M. multicatrix*. Лялечка *M. multicatrix* була знайдена у серцевині стебла злипки однорічної (*Erigeron annuus* (L.) Desf.) у м. Чернігів у 2018 році. Самець, що вийшов з неї, утримувався в лабораторних умовах, де він харчувався пилком кульбаби лікарської (*Taraxacum officinale* F. H. Wigg.). Проведено комплексний аналіз отриманих даних. Проаналізовано морфологічні ознаки імаго *M. multicatrix*, а також виявлено деякі особливості екології цього виду. До цього часу детальна морфологія імаго *M. multicatrix* була відома лише за описом виду, що був виконаний за одним самцем (голотип). Таким чином, результати проведеного морфологічного аналізу дозволять враховувати мінливість *M. multicatrix* щодо цього виду жуків-горбаток. У статті наведено результати вимірювання найбільш варіабельних морфологічних ознак *M. multicatrix*. Вперше наводяться фотографії його габітусу та параметр. Показано, що відношення довжини 5–10 члеників вусиків до їх ширини не може бути використане як ознака, яка дозволила б надійно відрізнити самців *M. multicatrix* та *M. secreta*. Відсутність зовнішніх ознак пригнічення рослини, в якій була виявлена лялечка, може бути пояснена тим, що під час розвитку личинки *M. multicatrix* провідні пучки у стеблі залишаються непошкодженими. На підставі аналізу довжини личинкового ходу, який був зроблений виявленим екземпляром на стадії личинки, показано, що відкладання яєць *M. multicatrix* може здійснюватися у верхній третині стебла. Довжина та діаметр проаналізованого личинкового ходу вказують на неможливість розвитку двох і більше личинок *M. multicatrix* в одному стеблі. Враховуючи кліматичні умови на території Чернігівської області, виявлення лялечки *M. multicatrix* наприкінці квітня свідчить про те, що розвиток личинки, що передувала їй, розпочався у червні 2017 року. На початок зимової діпаузи личинка досягла останнього личинкового віку. Визначено ймовірні фактори загрози *M. multicatrix*.

Ключові слова: біологічна різноманітність, жуки-горбатки, фауна України, морфологія, діагностичні ознаки, екологія, фактори загрози

Цитування: Буяльська Н.П. Перша знахідка *Mordellistena multicatrix* Kangas, 1986 (Coleoptera, Mordellidae) в Україні: морфологічний та екологічний аналіз. Вісник Харківського національного університету імені В.Н. Каразіна. Серія «Біологія», 2026, 46, 15–22. <https://doi.org/10.26565/2075-5457-2026-46-2>

Про автора:

Буяльська Н.П. – Національний університет «Чернігівська політехніка», вулиця Шевченка, 95, Чернігів, Україна, 14030, buialaska@gmail.com, <http://orcid.org/0000-0002-6800-5604>

Подано до редакції: 07.03.2026 / Прорецензовано: 27.04.2026 / Прийнято до друку: 25.05.2026 / Оприлюднено: 31.05.2026

Вступ

Жуки-горбатки у світовій фауні налічують понад 2300 видів (Selnekovič, Ruzzier, 2019). Вони трапляються на всіх континентах за винятком Антарктиди. Недостатньо вивченими залишаються жуки-горбатки Орієнтальної та Неотропічної зоогеографічних областей (Liu et al., 2018). З огляду на це можна очікувати значного збільшення кількості їх відомих видів. У ХХ столітті багато видів жуків-горбаток були описані італійським ентомологом М. Францісколо та німецьким ентомологом К. Ермішем. Нині нові види описуються нечасто. Одним з недавніх прикладів є *Mordellistena platypoda* Selnekovič, Goffová & Kodada, 2023, який був виявлений на італійському острові Іскія (Selnekovič et al., 2023).

Екологія жуків-горбаток потребує подальшого вивчення. Узагальнена екологічна характеристика представників родини традиційно включає згадку про те, що багато видів жуків-горбаток на стадії імаго живляться пилком покритонасінних рослин, а розвиток їх личинок найчастіше відбувається в стеблах трав'янистих рослин або мертвої деревини, яка розкладається під впливом грибів. Личинки деяких видів розвиваються у карпофорах трутовиків. Під час відвідування квіток, жуки-горбатки беруть активну участь в запиленні рослин (Traylor et al., 2023). Види жуків-горбаток,

розвиток личинок яких здійснюється в мертвій деревині, прискорюють процеси біологічної деструкції в лісових екосистемах, забезпечуючи тим самим їхнє стабільне функціонування (Liu et al., 2018).

Серед представників родини Mordellidae відомі поодинокі шкідники сільськогосподарських культур. Наприклад, в Україні до них відноситься південна соняшникова шипоноська (*Mordellistena parvuliformis* Stchegoleva-Barovska, 1930), личинки якої можуть викликати серйозне пошкодження стебел соняшника (Fedorenko, 2021).

Процеси глобалізації призводять до ненавмисного завезення жуків-горбатов на території, які розташовані далеко за межами їхніх природних ареалів. Так, за останні роки в США було виявлено чужорідні для країни види жуків-горбатов, які раніше зустрічалися лише в межах Палеарктики, а саме *Pseudomordellina hattorii* (Токеї, 1953) та *Tomoxia bucephala* Costa, 1854 (Mapes et al., 2025; Naczi et al., 2022).

Кліматичні зміни також впливають на поширення жуків-горбатов. Наприклад, за допомогою комп'ютерного моделювання показано, що до 2070 року площа місць проживання, яка придатна для жуків-горбатов з роду *Glipa*, може збільшитися майже на 54% (Su et al., 2025).

Поряд з іншими родинами інвентаризація таксономічного складу жуків-горбатов – важливий етап для збереження біологічної різноманітності. Проте визначення їх видової приналежності нерідко ускладнено. Насамперед це пов'язано з морфологічною подібністю багатьох видів жуків-горбатов, а також з високим ступенем їхньої мінливості. Переважна більшість існуючих ключів для визначення жуків-горбатов розроблена виключно по самцях і не дозволяє проводити ідентифікацію самиць.

Основний внесок у вивчення жуків-горбатов фауни України зробив В. К. Односум. Результатом його багаторічної роботи став вихід у 2010 році окремого тому наукового видання «Фауна України». Наразі вивчення жуків-горбатов в Україні продовжується. Останні дослідження дозволили підтвердити знаходження у складі фауни України жуків-горбатов *Mordellistena episternalis* Mulsant, 1856 та *M. secreta* Horák, 1983, а також виявити нові локалітети та охарактеризувати екологічні особливості для деяких інших видів із родини Mordellidae (Буяльська, 2024).

Мета роботи — на підставі даних, отриманих під час ентомологічних досліджень на території м. Чернігів, проаналізувати морфологічні ознаки та екологію нового для фауни України виду жука-горбатки *Mordellistena multicatrix* Kangas, 1986.

Матеріал та методи дослідження

В основу роботи покладено результати вивчення морфології імаго та екології *M. multicatrix*. Матеріалом для роботи слугував 1 екземпляр цього виду, який був виведений з лялечки, виявленої на території м. Чернігів:

Україна, м. Чернігів, суходільна лука, у стеблі злинок однорічної (*Erigeron annuus* (L.) Desf.), 30.04.2018, 1 екз. (лялечка, ♂, вихід імаго – 08.05.2018) (виведене з лялечки імаго показано на рис. 1).

Проведено вивчення його личинкового ходу. Крім того, проаналізовано стебло злинок однорічної, в якому відбувався його розвиток. Отримані дані було використано для встановлення особливостей екології та аналізу діагностичних ознак *M. multicatrix*.

Лялечка була виявлена в сухому стеблі. Вона була поміщена в картонний контейнер, де трималася в лабораторних умовах за температури 22–24 °C до виведення імаго. Імаго харчувалося в лабораторних умовах пилком кульбаби лікарської (*Taraxacum officinale* F. H. Wigg.).

Довжина та діаметр личинкового ходу виявленого екземпляра були вивчені на поздовжньому зрізі стебла. Для визначення рослинних тканин, у яких проходив личинковий хід, було підготовлено серію поперечних зрізів стебла. Зрізи робилися вручну за допомогою леза. З одержаних зразків виготовляли тимчасові мікропрепарати. Фарбування не проводилося.

У межах виявленого місця проживання *M. multicatrix* додатково проводився аналіз рослин злинок однорічної, які не були заселені личинками комах. Метою його проведення було порівняння морфометричних показників стебел рослин (висота та діаметр), у яких природним чином формується порожнина в серцевині, та стебла, в якому була виявлена личинка *M. multicatrix*. Усього було обстежено сухі стебла 54 рослин злинок однорічної у липні та серпні 2018 року.

Для вивчення морфології виведеного імаго, отримання фотографій, та аналізу зрізів стебла використовувалися біологічні мікроскопи OPTO-EDU A23.1501-T1, ДМ 9x1200, ULAB XSP-139B LED. Фотографії зроблені за допомогою фотокамери Sony ZV-E10. Об'єднання фотографій для отримання об'ємного зображення здійснювалося програмою Helicon Focus.

Парамери *M. secreta*, фотографії яких наведені у статті, належать екземпляру, зібраному на околицях м. Чернігова у 2016 році. Більш повні відомості про нього були опубліковані раніше (Буяльська, 2024).

Результати та обговорення

Mordellistena multicatrix — маловивчений вид. Згідно з Палеарктичним каталогом твердокрилих він тривалий час був вказаний тільки для Фінляндії (Horák, 2020). Причому він був відомий виключно за одним самцем (голотип), зібраним в 1984 на острові Еккере (Kangas, 1986). Така ситуація могла скластися через те, що його діагностичні ознаки не можна віднести до яскраво виражених. Ймовірно, твердокрилих, які належать *M. multicatrix*, під час фауністичних досліджень могли відносити до інших видів жуків-горбатов, наприклад, до *Mordellistena pumila* (Gyllenhal, 1810) або *M. secreta*.

M. multicatrix входить до групи *pentas*, види якої характеризуються певним комплексом морфологічних ознак, серед яких однією зі значущих є наявність трьох насічок на другому членику задніх лапок (рис. 2А). Види з цієї групи відносно складні у визначенні.

В Україні до теперішнього часу було виявлено три їхні види, а саме *Mordellistena pentas* Mulsant, 1856, *M. dalmatica* Ermisch, 1956 та *M. secreta*. Згідно з описом, зробленим Е. Кангасом, від першого виду *M. multicatrix* відрізняється наявністю більш довгих щетинок в основній третині передніх гомілок, від другого – слабо витягнутими 5–10 члениками вусиків, довжина кожного з яких тільки в 1,2 рази перевищує їх ширину (Kangas, 1986).

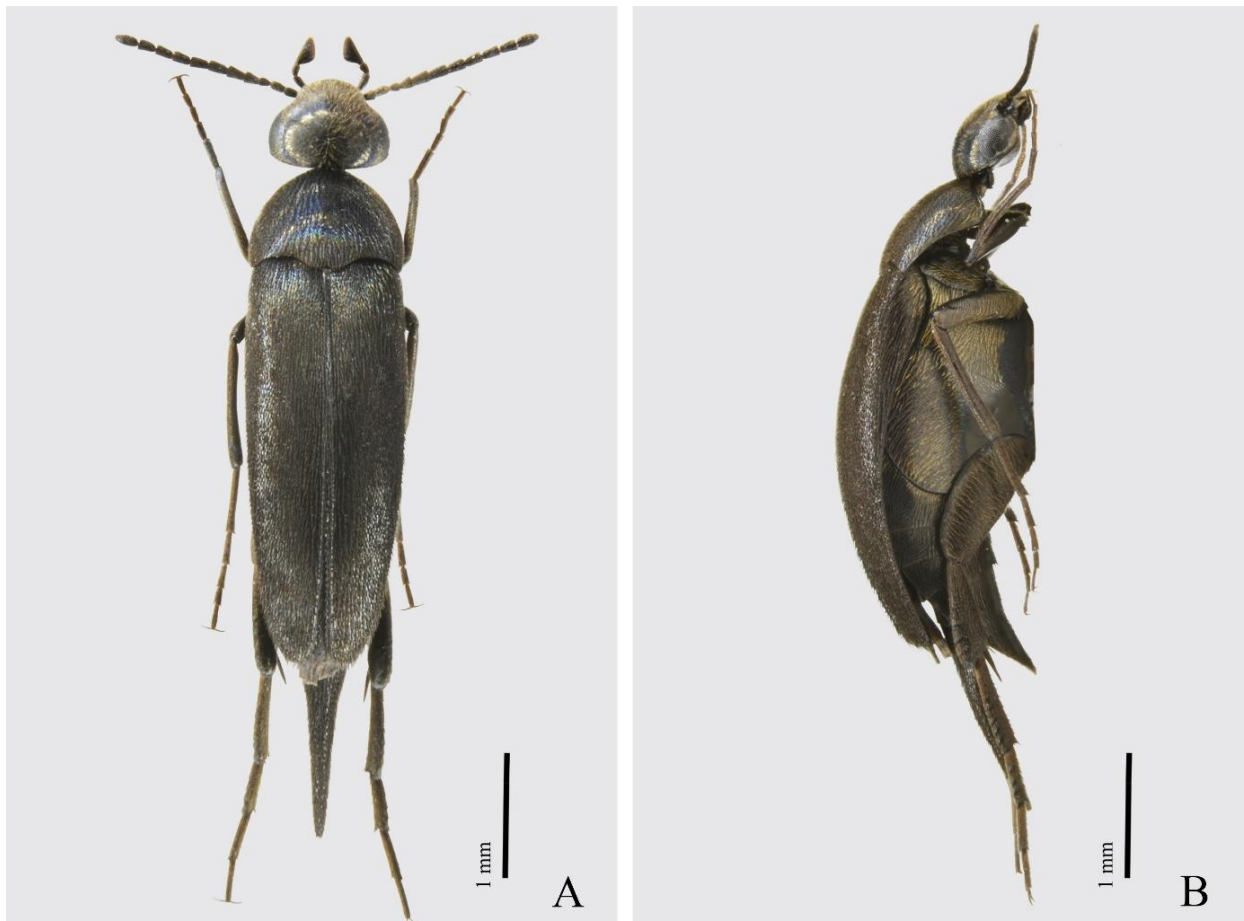


Рис. 1. Габітус самця *Mordellistena multicatrix* Kangas, 1986. А – Вид зверху. В – Вид збоку
Fig. 1. Habitus of the male of *Mordellistena multicatrix* Kangas, 1986. A – Dorsal view. B – Lateral view

Зазначена відмінність *M. multicatrix* від *M. secreta* демонструє один із найпоширеніших випадків, коли результати вимірювань пропорцій окремих структур жуків-горбатов розглядаються

для встановлення ключових діагностичних ознак. Однак їх використання у визначниках за наявності лише одного екземпляра не враховує мінливість видів, яка, як було сказано вище, у жуків-горбатов досить висока.

Слід ще раз наголосити, що детальна морфологія імаго *M. multicatrix* дотепер була відома з роботи Е. Кангаса, якому був доступний для опису лише один самець. У зв'язку з цим доцільно навести результати аналізу найбільш варіабельних діагностичних ознак виведеного в ході досліджень імаго *M. multicatrix* і порівняти їх з даними, які наводить Е. Кангас (табл. 1).

Наведені в таблиці дані показують, що відношення довжини 5–10 члеників вусиків до їхньої ширини, яке використовував Е. Кангас, не є надійною ознакою для того, щоб відрізнити *M. multicatrix* від *M. secreta*. Значення цієї діагностичної ознаки для *M. secreta* становить 1,4–1,6 (Horák, 1983).

В якості діагностичної ознаки Е. Кангас використовував також форму параметер. Однак параметри *M. multicatrix* він порівнював тільки з параметрами *Mordellistena berbera* Horak, 1983 — виду, який до сьогодні відомий лише з Алжиру за двома екземплярами – самцем та самицею (голотип та алотип). Його вибір для порівняння був обґрунтований тим, що для *M. berbera* також було зазначено, що довжина 5–10 члеників вусиків у 1,2 рази перевищує їхню ширину. У той самий час, відмінності за формою параметер між *M. multicatrix* та *M. secreta* досить виразні. Їхні рисунки наводяться в описах цих видів (Kangas, 1986; Horák, 1983). Отже, саме форму параметер необхідно використовувати для того, щоб відрізнити самців *M. multicatrix* та *M. secreta*.

Таблиця 1. Результати виміру найбільш мінливих морфологічних ознак *Mordellistena multicatrix* Kangas, 1986

Table 1. Measurement results of the most variable morphological features of *Mordellistena multicatrix* Kangas, 1986

№ / No.	Морфологічні ознаки / Morphological features	Результати виміру / Measurement results	
		Голотип / Holotype	Екземпляр з м. Чернігів / Specimen from the city of Chernihiv
1	Довжина тіла (мм)	4,5	5,9
2	Відношення довжини 5–10 члеників вусиків до їхньої ширини	1,2	1,5–1,7
3	Відношення довжини надкрил до їхньої ширини	2,6	2,6
4	Відношення довжини пігидія до довжини анального стерніту	2,5	2,7
5	Кількість насічок на задніх гомілкях (крім апікальної)	5	4
6	Кількість насічок на першому членику задніх лапок	4	5

Таблиця для визначення самців жуків горбатов групи *pentas* фауни України /

The key to the males of the tumbling flower beetles of the *pentas* species group of the fauna of Ukraine

- 1 Передні гомілки в основній третині з більш довгими щетинками на передньо-внутрішній поверхні.....**2**
- Передні гомілки несуть однакові по довжині щетинки по всій поверхні.....**3**
- 2 Дорзальна гілка правої параметри близька до прямокутної. Медіальна гілка лівої параметри гачкоподібно вигнута (рис. 2В).....***M. multicatrix***
- Дорзальна гілка правої параметри округла. Медіальна гілка лівої параметри дугоподібно вигнута (рис. 2С).....***M. secreta***
- 3 Очі округло-овальні.....***M. pentas***
- Очі еліптичні.....***M. dalmatica***

Крім вивчення морфології *M. multicastrix*, проведений аналіз зібраних даних дозволив з певним ступенем ймовірності реконструювати деякі аспекти розвитку виявленого екземпляра та виявити на їх основі низку екологічних особливостей виду в цілому. Так, екстраполяція даних, які були отримані при вивченні личинкового ходу, дозволила зробити висновок про те, що личинки *M. multicastrix* розвиваються в серцевині стебла за рахунок паренхімних клітин без ушкодження провідних тканин (рис. 3). Додатковий аналіз злипки однорічної, які не були заселені личинками будь-яких комах, дозволив встановити, що під час вегетаційного періоду частина клітин серцевини рано починає відмирати. При цьому утворення порожнини всередині серцевини очевидно не впливає на показники життєвості рослин. Отже, рослини, у яких розвиваються личинки *M. multicastrix*, мають можливість нормальної вегетації. Стебло, в якому була виявлена лялечка *M. multicastrix*, було середньої для цього виду висоти (близько 600 мм) та діаметра (близько 4 мм у основі), що також вказує на відсутність видимих ознак пригнічення рослини.

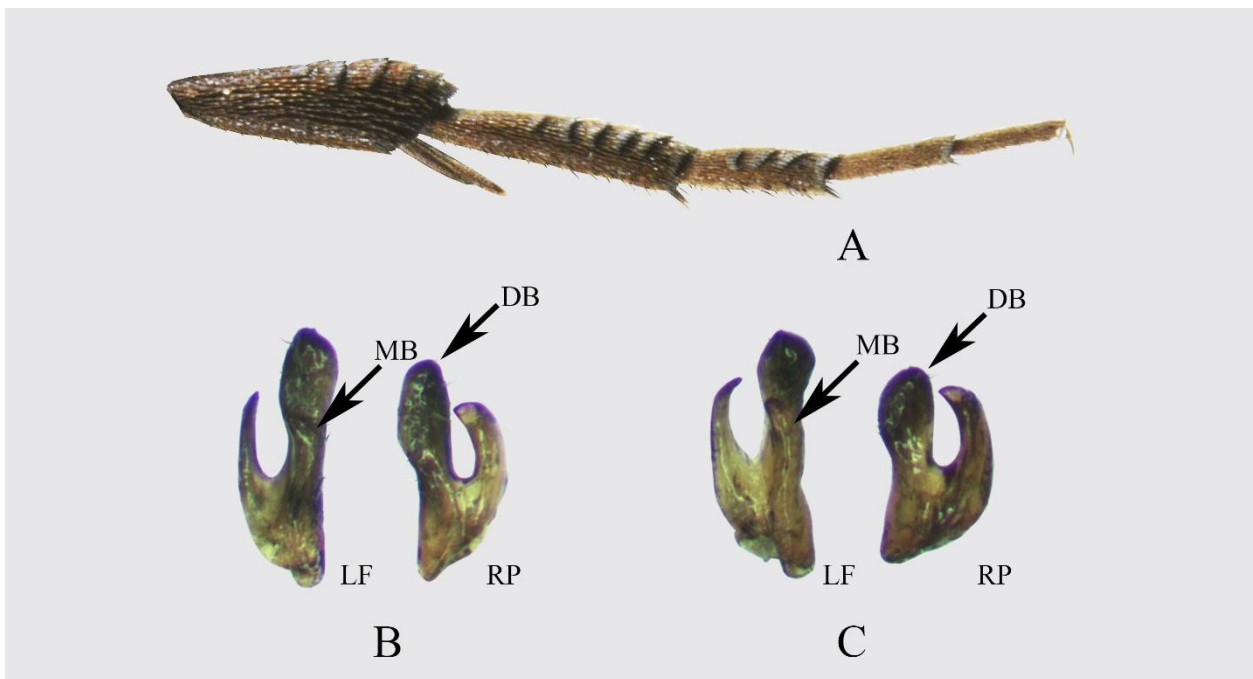


Рис. 2. Деталі будови *Mordellistena multicastrix* Kangas, 1986 та *M. secreta* Horák, 1983. А – Задня гомілка та лапка *M. multicastrix*. В – Парамери *M. multicastrix*. С – Парамери *M. secreta*. LF – Ліва парамера, RP – Права парамера, MB – Медіальна гілка лівої парамери, DB – Дорзальна гілка правої парамери

Fig. 2. Details of the structure of *Mordellistena multicastrix* Kangas, 1986 and *M. secreta* Horák, 1983. A – Hind tibia and tarsus of *M. multicastrix*. B – Parameres of *M. multicastrix*. C – Parameres of *M. secreta*. LF – Left paramere, RP – Right paramere, MB – Medial branch of left paramere, DB – Dorsal branch of right paramere

Личинковий хід виявленого екземпляра *M. multicastrix* простежувався на більшій частині стебла, виключаючи зону розташування генеративних пагонів. Його початок, розташований на висоті приблизно 430 мм від основи стебла, вказує на місце відкладання яйця, з якого вийшов знайдений екземпляр. Після вилуплення і проникнення в серцевину стебла личинка поступово спускалася до його основи, на що вказує діаметр личинкового ходу, що збільшується донизу.

Вихід імаго в лабораторних умовах настав через 8 днів після виявлення лялечки. Однак коливання денних та нічних температур у природних умовах очевидно зумовлюють більш тривалий період метаморфозу цього виду. Отже, можна припустити, що у природному середовищі імаго мало б з'явитися приблизно наприкінці другої декади травня. Справді, на території Чернігівської області цей період характеризується початком масової появи імаго представників родини Mordellidae, які розвиваються у стеблах трав'янистих рослин (наприклад, *Mordellistena koelleri* Ermisch, 1956).

Виявлення лялечки наприкінці квітня вказує на те, що знайдений екземпляр *M. multicatrix* під час зимової діapaузи знаходився в останньому личинковому віці. Перетворення личинки на лялечку, таким чином, відбулося після зимівлі. Перенесення зимового періоду на стадії личинки, очевидно, є загальним правилом для жуків-горбатов в умовах помірного клімату. Спостереження, проведені раніше за деякими жуками фауни України, підтверджують це припущення (Буяльська, 2024). З цього випливає, що розвиток виявленого екземпляра на личинковій стадії почався приблизно в першій половині червня попереднього року. В іншому випадку личинка не змогла б досягти останнього личинкового віку до зимової діapaузи.

Довгий личинковий хід виявленого екземпляра *M. multicatrix* вказує на те, що можливість заселення одного і того ж стебла більш ніж однією личинкою цього виду виключається. Такий висновок можна зробити виходячи з того факту, що личинковий хід охоплює практично всю довжину стебла і не залишає місця для розвитку другої личинки. Справді, інших личинок чи ознак їх розвитку у дослідженому стеблі злишки однорічної виявлено не було.

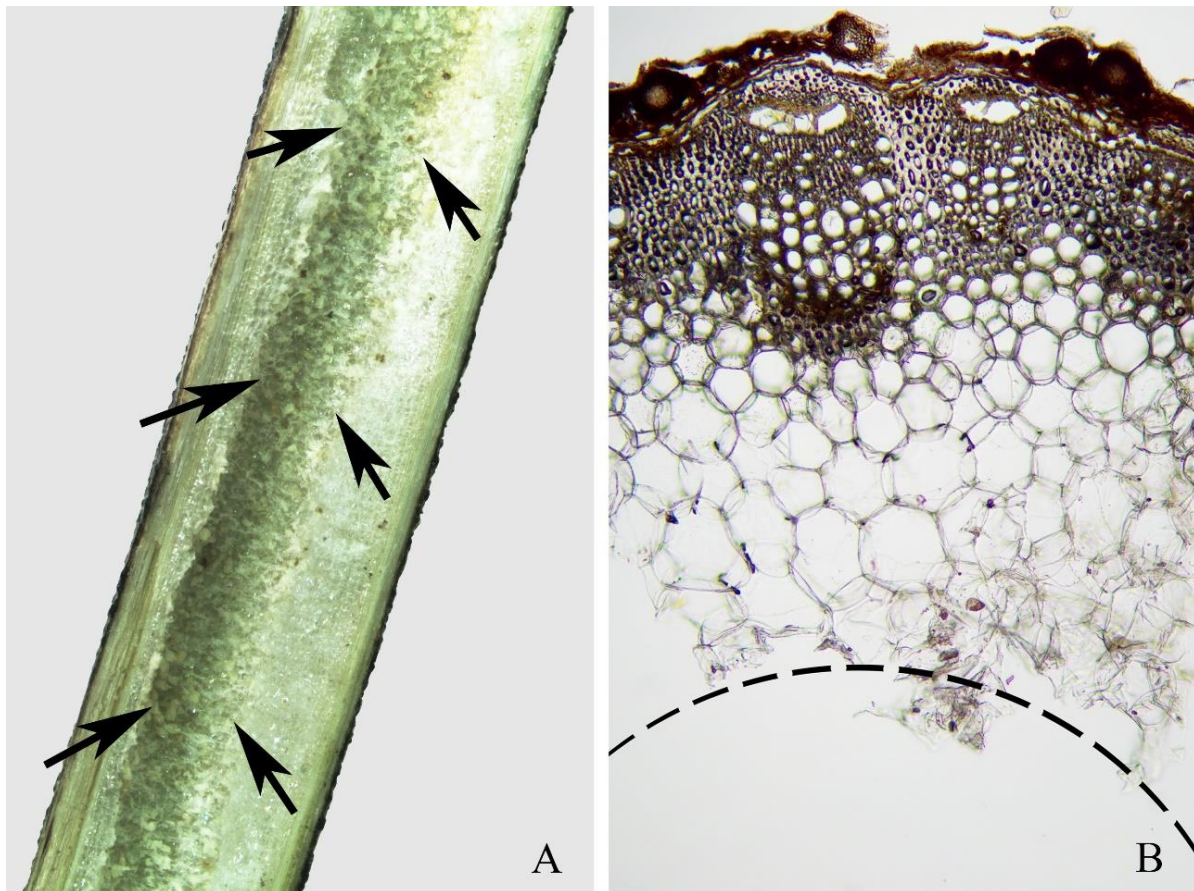


Рис. 3. Стебло злишки однорічної (*Erigeron annuus* (L.) Desf.) з личинковим ходом *Mordellistena multicatrix* Kangas, 1986. А – Поздовжній зріз стебла (личинковий хід вказаний стрілками). В – Поперечний зріз стебла (личинковий хід відмежований пунктирною лінією)

Fig. 3. Stem of annual fleabane (*Erigeron annuus* (L.) Desf.) with the larval tunnel of *Mordellistena multicatrix* Kangas, 1986. А – Longitudinal section of the stem (larval tunnel is indicated by arrows). В – Cross-section of the stem (the larval tunnel is delimited by a dotted line)

Під час розвитку у стеблах злишки однорічної на *M. multicatrix* можуть впливати різні фактори загрози. До них, насамперед, можна віднести сінокосіння та польові пожежі. Крім того, злишка однорічна є чужорідним видом в Україні. Її також відносять до інвазійних рослин (Феденко, 2024). У цьому випадку боротьба з інвазійними видами може розглядатися як ще один фактор загрози для *M. multicatrix*.

Висновки

У ході проведених досліджень виявлено новий для фауни України вид жука-горбатки – *M. multicolor*. Фотографії габітуса *M. multicolor* та його параметри наводяться вперше.

Дані з морфології виявленого екземпляра дозволяють розширити можливості врахування мінливості *M. multicolor* під час фауністичних досліджень. Встановлено, що відносно короткі 5–10 членики вусиків, зазначених в описі виду, є одним із окремих випадків. На цій підставі показано, що їх пропорції не можуть бути використані як діагностична ознака, яка дозволила б відрізнити *M. multicolor* від *M. secreta*.

Встановлено, що злинка однорічна є кормовою рослиною для личинок виду *M. multicolor*, а його імаго можуть харчуватися пилком кульбаби лікарської (*T. officinale*).

Проведений аналіз дозволив реконструювати особливості розвитку виявленого екземпляра на преімагінальних стадіях, що з урахуванням екстраполяції отриманих даних дозволило визначити деякі особливості екології виду: місце та можливий час відкладення яєць на стеблі, термін розвитку на личинковій стадії, зону стебла, в якому відбувається харчування личинок, ймовірно нейтральний або близький до нього вплив личинок на кормову рослину, виключення можливості розвитку двох і більше личинок в одному стеблі.

Показано, що *M. multicolor* насамперед може стикатися з типовими для хортобіонтних видів твердокрилих антропогенно обумовленими факторами загрози як-от сінокосіння та польові пожежі. Однак, крім зазначених, таким фактором може виступати боротьба з інвазійними видами рослин.

Список літератури / References

- Буяльська Н. П. (2024). Нові відомості про жуків-горбаток (Coleoptera: Mordellidae) фауни України. *Вісник ОНУ. Біологія*, 29, 1(54), 39–49. [Buialska, N. P. (2024). New data on tumbling flower beetles (Coleoptera: Mordellidae) of the fauna of Ukraine. *Odesa National University Herald. Biology*, 29, 1(54), 39–49]. (In Ukrainian) [https://doi.org/10.18524/2077-1746.2024.1\(54\).309037](https://doi.org/10.18524/2077-1746.2024.1(54).309037)
- Феденко В. С. (2024). Відбивальні характеристики квіток як критерій інвазивності *Erigeron annuus* (L.) Pers. *Екологія та ноосферологія*, 35(1), 52–57. [Fedenko, V. S. (2024). Reflectance characteristics of flowers as a criterion for invasiveness of *Erigeron annuus* (L.) Pers. *Ecology and Noospherology*, 35(1), 52–57]. (In Ukrainian) <https://doi.org/doi:10.15421/032409>
- Fedorenko V., Hornovska S., Fedorenko A. (2021). Distribution and harmfulness of *Mordellistena parvuliformis* beetle in the left bank steppe of Ukraine. *Interdepartmental Thematic Scientific Collection of Plant Protection and Quarantine*, 67, 337–348. <https://doi.org/10.36495/1606-9773.2021.67.337-348>
- Horák J. (1983). Revision der *Mordellistena*-Arten aus der pentas-Gruppe (Coleoptera, Mordellidae). *Entomologische abhandlungen*, 47(1), 1–13. (In German)
- Horák J. (2020). Mordellidae. In D. Iwan, I. Löbl (Ed.), *Catalogue of Palearctic Coleoptera. Tenebrionoidea* (Vol. 5, 2nd ed. pp. 79–104), Leiden, Brill.
- Kangas E. (1986). Eine neue *Mordellistena*-Art (Coleoptera, Mordellidae), eine neue unbeschriebene Art. *Annales Entomologici Fennici*, 52(4), 139–141. (In German)
- Liu Y., Erwin T. L., Yang X. (2018). Mordellidae (Coleoptera) Research: A Review Based on the Zoological Record from 1864 through 2013. *Insects*, 9(3), 113. <https://doi.org/10.3390/insects9030113>
- Mapes C. C., Lawrence J. T., Setliff G. P., Looney C., Elsayed A. K., Datko A. C., Frieauff K., Bohn E., Falkowski J., Wink Z. W., Tsuru T. K. (2025). First record of a gall-inducing mordellid in North America: *Pseudomordellina hattorii* (Coleoptera: Mordellidae) induces galls on common mugwort, *Artemisia vulgaris* in the Northeastern United States. *Transactions of the American Entomological Society*, 151(2), 267–276. <https://doi.org/10.3157/061.151.0203>
- Naczi R., Androw R. A., Rosenfeld J. (2022). *Tomoxia bucephala* A. Costa (Coleoptera: Mordellidae), a Palearctic tumbling flower beetle established in North America. *Insecta Mundi*, 0939, 1–15. <https://doi.org/10.5281/zenodo.7168004>
- Selnekovič D., Goffová K., Šoltýs J., Kováčová E., Kodada J. (2023). *Mordellistena platypoda*, a new species of tumbling flower beetle from the island of Ischia in Italy (Coleoptera, Mordellidae). *ZooKeys*, 1148, 41–63. <http://dx.doi.org/10.3897/zookeys.1148.86845>
- Selnekovič D., Ruzzier E. (2019). New distributional records for sixteen Mordellidae species from the Western Palearctic (Insecta, Coleoptera, Mordellidae). *ZooKeys*, 894, 151–170. <http://dx.doi.org/10.3897/zookeys.894.39584>

Su X., Ouyang X., Ding X., Wang Y., Liu W., Liu Y. (2025). Predicting suitable habitat for *Glipa* (Coleoptera: Mordellidae: Mordellinae) under current and future climates using MaxEnt modeling. *Insects*, 16(6), 642. <https://doi.org/10.3390/insects16060642>

Traylor C. R., Ulyshen M. D., McHugh J. V. (2023). New Host Records and a Review of Deadwood Associations for Mordellidae (Coleoptera) in North America. *The Coleopterists Bulletin*, 77(3), 375–381. <https://doi.org/10.1649/0010-065X-77.3.375>

First record of *Mordellistena multicatrix* Kangas, 1986 (Coleoptera, Mordellidae) in Ukraine: morphological and ecological analysis N.P. Buialska

Mordellistena multicatrix Kangas, 1986 is recorded for the fauna of Ukraine for the first time. Therefore, currently in Ukraine there are 4 species of tumbling flower beetles from the *pentas* species group (proposed by K. Ermisch in 1956): *M. secreta* Horák, 1983, *M. pentas* Mulsant, 1856, *M. dalmatica* Ermisch, 1956 and *M. multicatrix*. The pupa of *M. multicatrix* was found in the pith of the stem of annual fleabane (*Erigeron annuus* (L.) Desf.) in Chernihiv in 2018. The hatched male was kept in laboratory conditions where it fed on pollen of the common dandelion (*Taraxacum officinale* F. H. Wigg.). A comprehensive analysis of the obtained data was carried out. The morphological characteristics of *M. multicatrix* adults were analyzed and certain ecological characteristics of this species were identified. Until now, the detailed morphology of the *M. multicatrix* adult was known only from the species description, which was based on a single male (holotype). Thus, the results of the morphological analysis can be used to take into account the variability of *M. multicatrix* when identifying this species of tumbling flower beetles. The article presents the measurement results of the most variable morphological features of *M. multicatrix*. Photographs of its habitus and parameres are provided for the first time. It is shown that the ratio of the length of antennomeres 5–10 to their width cannot be used as a feature that would reliably distinguish males of *M. multicatrix* from *M. secreta*. The absence of external signs of suppression of the plant in which the pupa was found can be explained by the fact that during the development of the *M. multicatrix* larva, the vascular bundles in the stem remain intact. Based on the analysis of the length of the larval tunnel, which was made by the found specimen when it was at the larval stage, it is shown that *M. multicatrix* can lay eggs in the upper third of a stem. The length and diameter of the analyzed larval tunnel indicate the impossibility of the development of two or more *M. multicatrix* larvae in one stem. Given the climatic conditions in the Chernihiv region, the find of the *M. multicatrix* pupa at the end of April indicates that the development of the larva that preceded it began in June 2017. By the beginning of winter diapause, the larva had reached the last larval instar. Potential threats to *M. multicatrix* were identified.

Key words: biological diversity, tumbling flower beetles, fauna of Ukraine, morphology, diagnostic features, ecology, threats

Cite this article: Buialska N.P. First record of *Mordellistena multicatrix* Kangas, 1986 (Coleoptera, Mordellidae) in Ukraine: morphological and ecological analysis. *The Journal of V. N. Karazin Kharkiv National University. Series Biology*, 2026, 46, 15–22. <https://doi.org/10.26565/2075-5457-2026-46-2> (In Ukrainian)

About the authors:

Buialska N.P. – Chernihiv Polytechnic National University, St. Shevchenko, 95, Chernihiv, Ukraine, 14030, buialska@gmail.com, <http://orcid.org/0000-0002-6800-5604>

Use of Artificial Intelligence: The author certifies that no generative artificial intelligence tools were used in the conduct of the research or in the preparation of this manuscript. / **Використання штучного інтелекту:** Автор засвідчує, що під час проведення дослідження та підготовки цього рукопису генеративний штучний інтелект не використовувався.

Received: 07.03.2026 / Revised: 27.04.2026 / Accepted: 25.05.2026 / Published: 31.05.2026

••• МОДЕЛЮВАННЯ У БІОЛОГІЇ ••• BIOLOGICAL MODELING •••

DOI: <https://doi.org/10.26565/2075-5457-2026-46-3>
UDC: 314.17:004.94:378.147

From Malthusian trap to demographic transition: educational and research aspects of a university simulation course

K.O. Nesterenko, D.O. Holovnia, M.O. Kravchenko, E.A. Shorokhova,
M.A. Sydorova, O.S. Surma, D.A. Shabanov

This article describes a simulation model developed through a collaborative effort between Master's students, PhD students, and lecturers within the course "Simulation Modelling of Stability and Evolution of Supraorganismal Biosystems". Over a series of academic sessions in the R environment, the "Humanity Growth" simulation model was developed, which features a step-by-step increase in systemic complexity. This model belongs to the category "mechanism-sufficiency models" (models that test whether a proposed mechanism is sufficient to reproduce observed dynamics). The baseline architecture consists of an exponential population growth model with several age classes, each characterized by its own birth and death rates. In subsequent stages, the model sequentially integrates: a logistic constraint on carrying capacity (Verhulst parameter); the effect of a time lag in the population's response to resource scarcity (Nicholson parameter); a reduction in environmental capacity resulting from overpopulation crises (Easter Island parameter); the expansion of carrying capacity driven by lifestyle-improving cultural evolution (von Foerster parameter); and, finally, the mechanism of demographic transition (Notestein parameter). The paper discusses the model's structure, simulation results, and alternative algorithmic solutions considered during collaborative development. The authors consider this step-by-step modelling approach successful and offer their experience for its further development and application.

Key words: *simulation, humanity population, population dynamics, sustainability, environmental carrying capacity, lag effect, hyperbolic growth, demographic transition, mechanism-sufficiency models*

Cite this article: Nesterenko K.O., Holovnia D.O., Kravchenko M.O., Shorokhova E.A., Sydorova M.A., Surma O.S., Shabanov D.A. *From Malthusian trap to demographic transition: educational and research aspects of a university simulation course. The Journal of V. N. Karazin Kharkiv National University. Series Biology, 2026, 46, 23–42.* <https://doi.org/10.26565/2075-5457-2026-46-3>

About the authors:

Nesterenko K.O. – V.N. Karazin Kharkiv National University, Kharkiv, Ukraine, 4, Svobody Maidan, Kharkiv, Ukraine 61022, rykova@karazin.ua, <https://orcid.org/0009-0003-8726-5000>
Holovnia D.O. – V.N. Karazin Kharkiv National University, Kharkiv, Ukraine, 4, Svobody Maidan, Kharkiv, Ukraine 61022, dmytro.holovnia@karazin.ua, <https://orcid.org/0009-0005-4018-0741>
Kravchenko M.O. – V.N. Karazin Kharkiv National University, Kharkiv, Ukraine, 4, Svobody Maidan, Kharkiv, Ukraine 61022, marinakravchenko@karazin.ua, <https://orcid.org/0000-0001-8392-7781>
Shorokhova E.A. – V.N. Karazin Kharkiv National University, Kharkiv, Ukraine, 4, Svobody Maidan, Kharkiv, Ukraine 61022, shorokhova2021b112@student.karazin.ua, <https://orcid.org/0009-0006-1938-865X>
Sydorova M.A. – V.N. Karazin Kharkiv National University, Kharkiv, Ukraine, 4, Svobody Maidan, Kharkiv, Ukraine 61022, sydorova2021b117@student.karazin.ua, <https://orcid.org/0009-0006-4176-6821>
Surma O.S. – V.N. Karazin Kharkiv National University, Kharkiv, Ukraine, 4, Svobody Maidan, Kharkiv, Ukraine 61022, surma2021b117@student.karazin.ua, <https://orcid.org/0009-0006-9826-7943>
Shabanov D.A. – V.N. Karazin Kharkiv National University, Kharkiv, Ukraine, 4, Svobody Maidan, Kharkiv, Ukraine 61022, shabanov@karazin.ua, <https://orcid.org/0000-0003-3247-6882>

Received: 15.01.2026 / Revised: 21.03.2026 / Accepted: 25.04.2026 / Published: 31.05.2026

Introduction

The analysis of biological population growth is a classic problem in mathematical modelling, tracing back to the early 13th-century "Liber Abaci" – the magnum opus of Fibonacci (Leonardo of Pisa). Since the revolutionary work of Thomas Malthus (Malthus, 1798), modelling the growth of human populations and humanity as a whole has acquired profound significance. While the population dynamics of most species are simulated using exponential and logistic models, a major breakthrough of the 20th century was the realisation that humanity grows in a fundamentally different way from other species: hyperbolically (von

Foerster et al., 1960). In light of this, it is natural that this problem is one of the central topics in simulation modelling courses taught at the Faculty of Biology of V. N. Karazin Kharkiv National University (particularly, "Simulation Modelling of Stability and Evolution of Supraorganismal Biosystems").

We are confident in the high potential of using simulation modelling in education (Kravchenko et al., 2024). Engaging students in the independent or collaborative design of models successfully bridges the gap between classroom instruction and authentic empirical research. A significant advantage of simulation models is the possibility of their step-by-step complication: adding new conditions and feedback loops layer by layer. Under controlled conditions, students have the opportunity to develop initially simple and subsequently increasingly complex systems, making their underlying mechanisms perfectly clear. This approach relies on creative activity, which fosters emotional engagement in the process. Collaborative model building also enables a "brainstorming" style of interaction among participants – developing new models is inherently more motivating than merely replicating predefined templates.

In this article, we outline the logic and structure of the "Humanity Growth" model, which was developed through a collaborative effort involving Master's students, PhD students, and lecturers. This model falls into the category of what can be termed "mechanism-sufficiency models" (models that test whether a proposed mechanism is sufficient to reproduce observed dynamics). Such models determine whether a specific set of assumptions and mechanisms is sufficient to explain the emergence of a particular property of interest within the modelled system. According to the classification we employ (Shabanov et al., 2025), Type I models run a single simulation and describe a specific trajectory of the modelled system in phase space. When these dynamics are indeterminate, Type II models become meaningful, establishing the probability distribution of specific outcomes under identical initial conditions. Type III models involve the step-by-step alteration of one or two initial parameters, constructing a probability distribution of outcomes for each variant to determine how the changing parameters affect the process dynamics. Finally, Type IV models evaluate all possible combinations of initial parameters to determine under which conditions a targeted outcome can or cannot be achieved.

In our view, the "Humanity Growth" model we developed helped students master a range of approaches applicable to simulation modelling, while simultaneously carrying distinct research value. An interesting feature that could be applied in other similar contexts is its incremental complication structure. Within a single script written in the R programming language (R Core Team, 2023), a switch allows the user to choose one of five steps of model complexity. At each step, new conditions or feedback loops are introduced. The output of the model (currently implemented only as a Type I model) describes the trajectory of the system and generates a visualised dashboard that compiles the input parameters alongside an integrated representation of the resulting global population dynamics.

Evolution of Paradigms for Describing Human Population Growth

The uniqueness of human population dynamics

The analysis of human demographic development confronts researchers with the challenge of finding a balance between universal biological laws affecting our species and specific non-linear mechanisms of socio-economic progress. The uniqueness of human populations lies in culture, the coordination of collective actions across different parts of the world, and social institutions, all of which enable society to actively transform its own ecological niche (Cohen, 1998). Yet, humanity remains bound by the planet's material constraints: spatial limits, the regenerative capacity of ecosystems, and the temporal lags of biological reproduction. Humanity cannot entirely eliminate ecosystem inertia, which under certain conditions creates risks of deep ecological overshoot (Meadows et al., 2004). However, society radically reshapes these limits, as humanity has now replaced classic external regulators, such as food scarcity or predation, with endogenous social forces (von Foerster et al., 1960). One of the primary differences between humans and other biological species is that our reproductive behaviour and mortality (at least for the vast majority of society) are mediated by technological advancement, the capital intensity of production, and conscious choices regarding family structure (Galor & Weil, 2000).

At the same time, this progress does not mean a complete release from natural limits: empirical data show that economic scaling and population expansion actually intensify modern civilisation's total reliance on ecosystem services and biodiversity conservation (Guo et al., 2010). Furthermore, today human civilisation faces a series of existential threats stemming from a combination of five global and anthropogenic challenges: climate change, resource depletion, environmental degradation, overpopulation, and rising social inequality (Quinlan, 2020).

A historical perspective clearly demonstrates that the carrying capacity of the human environment is a variable rather than a constant. Economic development has continuously transformed rigid natural feedbacks, as technological revolutions allowed population size to expand without an immediate decline in per capita living standards. Moreover, increasing societal density only fostered the spread of innovations,

generating a sustained positive feedback loop between population size and knowledge generation (Kremer, 1993). In the final stages of modernisation, this progress leads to a unique phenomenon – the breaking of the direct link between environmental wealth and fertility, triggering a conscious limitation of family size to facilitate education and human capital accumulation (Notestein, 1945; Lee, 2003).

To systematically describe this complex interaction between biological limits and socio-economic breakthroughs, scientific thought has undergone a long evolutionary journey. The unfolding of theoretical approaches occurred through a step-by-step increase in complexity, moving from the depiction of abstract, unconstrained reproduction to non-linear models of the demographic transition. The classical perspective of Thomas Malthus became the first foundational element along this path.

The Malthusian Model of Exponential Growth

From a long-term historical perspective, human population dynamics show a complex and non-linear character. Following the end of the last ice age, the global population stood at only about 2-4 million people. Over the next twelve millennia, humanity achieved remarkable evolutionary success; as a result, the global population reached its first billion by 1800 and crossed the 7-billion mark in November 2011 (Sojecka & Drozd-Rzoska, 2025).

The first systematic attempt to conceptualize, mathematically describe, and predict the economic impact of this massive demographic expansion was proposed by Thomas R. Malthus in his seminal 1798 work, *An Essay on the Principle of Population*. The core of Malthusian theory rests on a sharp, non-linear gap between human reproductive potential and the physical limits of the planet. Malthus argued that, without restraining factors, human populations tend to grow at a geometric (exponential) rate, doubling every 25 years, while food production can only increase arithmetically (Unat, 2020).

The Malthusian model relies on two fundamental assumptions:

1. Fixed production factors, primarily a limited amount of agricultural land, meaning that per capita food supply tends to decline as the population grows.
2. A direct link between resources and reproduction, where any rise in living standards and material well-being automatically triggers a positive response in population growth rates (Galor & Weil, 2000).

Following this logic, without technological change or land expansion, a population is doomed to fall into a state of harsh, subsistence-level equilibrium. Even if innovations or the settlement of new territories temporarily boost living standards, population growth completely erases this surplus in the long run. The ultimate outcome is a larger but equally impoverished population, balancing on the brink of physical survival (Abramitzky & Braggion, 2003).

In summary, the baseline Malthusian model established the foundational idea that a population's reproductive potential (r) drives exponential growth. However, this growth inevitably collides with the hard limits of Earth's fixed resources, making permanent, infinite expansion biologically and economically impossible (Meadows et al., 2004; Lidicker Jr, 2020). Yet, Malthus's assumption of an instantaneous collision with these limits – without considering the specific parameters of the environment itself – highlighted the need to revise the model's mathematical framework.

The Classic Verhulst Logistic Model

Despite its long historical success in describing the pre-industrial era, the exponential model failed to capture the dynamics of systems approaching physical and resource limits. Malthus's work was extended mathematically by the Belgian mathematician P. F. Verhulst (1838), who explicitly introduced the carrying capacity parameter (K) into population dynamics. Biologically, K represents the maximum population size that a specific environment can sustainably support in the long term.

By replacing the constant Malthusian growth factor with a relative growth rate that declines linearly with population density, Verhulst's equation describes a clear bimodal behaviour (Sojecka & Drozd-Rzoska, 2025). When the population is small compared to the carrying capacity ($N \ll K$), the system behaves like a Malthusian model with near-exponential growth. As density increases and resources are depleted, a negative feedback loop activates. This guides the system toward an S-shaped plateau – a stationary stabilization phase at level of K (Pelagalli et al., 2025).

This classic sigmoidal trajectory is typical for stable systems with renewable resources, where the ecosystem's regeneration rate fully offsets population consumption. However, the nature and duration of this logistic plateau depend heavily on the type of limiting resources. While the stationary phase can last indefinitely in renewable systems, the picture changes completely for isolated systems relying on non-renewable resources. In such scenarios, the stationary phase is extremely brief. It is inevitably followed by a sharp population decline due to complete resource exhaustion (Sojecka & Drozd-Rzoska, 2025).

Thus, the integration of Verhulst's parameter (K) marked a shift from modelling abstract, unlimited growth to describing real ecological boundaries, where carrying capacity acts as a strict brake on

reproductive potential. Nevertheless, Verhulst's logistic plateau remained mathematically stable only under the strict assumption that the population responds to resource scarcity instantly – a condition that fundamentally violates the principles of biological inertia.

The Time-Delayed Logistic Model

The classic Verhulst model relies on a strict simplification: it assumes that population regulation through resource deficits or intraspecific competition occurs instantly. Conversely, in real ecosystems there is a time lag – a delay between the moment a population reaches critical density and the moment this directly affects birth or death rates.

G. E. Hutchinson first proposed the mathematical framework for this phenomenon by introducing a discrete time lag τ into the logistic differential equation (Hutchinson, 1948). Similarly, through analysing insect population dynamics, A. Nicholson demonstrated that reproductive lag and resource-consumption inertia inhibit a system's capacity for timely stabilization as it converges upon the carrying capacity threshold K (Nicholson, 1954).

Research in system dynamics and ecology shows that adding even a minor temporal delay changes the model's behaviour completely. Instead of a smooth transition to Verhulst's stable plateau, the system initiates oscillatory behaviours (May, 1976; Turchin, 2013). Depending on the size of the lag and the population's reproductive potential, simulations identify three primary dynamic regimes:

1. Damped oscillations around K .
2. Stable limit cycles characterized by persistent periodic waves.
3. Chaotic fluctuations, where the population plunges into a deep ecological overshoot. This significantly exceeds the ecosystem's capacity and sets the stage for a subsequent demographic crisis (Berryman, 1999).

Consequently, the introduction of a delay parameter transforms the static logistic model into a dynamic, oscillatory system. The population size responds not to the current ecological state of the environment, but to the state of the system several years or decades ago. This provides a more realistic reflection of biological and demographic inertia. This regime of inevitable ecological overshoot and subsequent collapse became key to understanding the decline of real isolated systems, where a delayed population response to resource depletion physically destroys the habitat itself.

Ecological Overshoot and Carrying Capacity Degradation: The Easter Island Framework

Another fundamental limitation of classic approaches is the assumption that environmental parameters are static and unchanging. In real systems, the carrying capacity of an ecological niche (K) is a dynamic variable. If demographic pressure causes a severe overshoot, the underlying resource base undergoes severe degradation. This turns a smooth growth slowdown into a catastrophic systemic collapse (Rees, 2002; Brandt & Merico, 2015).

The fate of Easter Island (Rapa Nui), an isolated piece of land in the Pacific Ocean, serves as the primary historical model for studying these non-linear human-nature interactions on a global scale. Palaeobotanical analyses of palynological profiles from marsh sediments, coupled with radiocarbon dating of charcoal remnants, establish that during the initial settlement by Polynesian colonists circa 450-500 CE according to some estimates, the island was a densely forested ecosystem with a massive subtropical palm forest. Meeting basic food needs was relatively easy, which stimulated rapid demographic growth. Estimates of peak population range from 7,000 to 15,000-20,000 individuals between the 14th and 16th centuries. However, the unregulated exploitation of this open-access renewable resource led to the complete disappearance of palm trees by around 1400 (Brander & Taylor, 1998). One explanation for the subsequent demographic crisis is the ecocide scenario. Deforestation triggered a series of resource crises. This caused a swift demographic crash to approximately 2,000 people by 1722, accompanied by tribal warfare and cannibalism (Diamond, 2005).

System dynamics modelling conducted by J. Brander and S. Taylor (1998) demonstrates that the emergence of this boom-and-bust cycle was a direct consequence of a specific ecological parameter: the extremely low intrinsic regeneration rate of the native palm trees (Brander & Taylor, 1998). The core issue of overshoot is the uncontrolled depletion of common-pool resources for private gain. As the population grows, individual increases in extraction temporarily mask environmental degradation and delay early warning signals of a crisis. Consequently, by the time society finally notices the ecosystem's collapse, the resource base is already destroyed, leaving no time to establish conservation rules (Anderies, 2000).

The Easter Island model demonstrates that ignoring non-linear feedback and leaving renewable resources unregulated under Malthusian pressure leads to the inevitable destruction of carrying capacity (K). This creates cyclical "feast and famine" processes that directly cause severe systemic conflicts.

However, while Rapa Nui's fragile island biosphere was vulnerable to human pressure, global humanity found a way to counter crises by completely restructuring the production system itself.

Endogenous Technological Progress and Population Expansion: The von Foerster Framework

The next step in the evolution of population growth ideas overcomes the strict ecological limits of Malthus and Verhulst by introducing a mechanism of endogenous technological progress. In a society with high levels of communication and information exchange, humanity breaks its linear dependence on natural resources. The anthropogenic habitat becomes increasingly mediated by endogenous technological vectors (von Foerster et al., 1960). This enables the system to actively expand the parameters of its environmental carrying capacity rather than passively adjusting to a static limit.

The fundamental manifestation of this pattern is the hyperbolic growth effect (von Foerster et al., 1960). The authors demonstrated that if the growth dynamics of the past two millennia continued, the accelerating gap between birth and death rates would cause the population curve mathematically to approach infinity on a specific critical date: Friday, November 13, 2026. This anomalous acceleration is the result of the population growth rate becoming proportional not simply to the current population size, but to its square. This relationship reflects intensifying social interactions and bypasses the immediate intervention of exogenous resource scarcity.

Michael Kremer (1993) provided an economic and evolutionary justification for this phenomenon. He built an integrated model linking the Malthusian assumption of resource-limited population to the concept of endogenous innovation. This approach partly echoes Esther Boserup's theory, which argued that demographic pressure forces societies to develop new technologies when the old resource base can no longer sustain them (Boserup, 1965).

Integrating the technological factor into the model shows that a larger population produces more knowledge, which in turn expands carrying capacity and drives further accelerated growth. However, Kremer's model includes an important caveat: as per capita income rises alongside technological progress, it eventually triggers a reverse reaction – a decline in fertility rates at high wealth levels. This shifts the system toward the final demographic transition, ultimately enabling the global system to break the Malthusian trap, shifting from quantitative expansion to internal qualitative stabilization.

The Demographic Transition in a Closed Ecosystem: The Notestein Framework

The final step in system complexity describes a turning point in global societal development. This stage marks the breaking of the centuries-old Malthusian constant and the transition of the eco-economic system into a regime of modern sustainable growth. The mathematical and theoretical foundation of this process rests on the classic demographic transition theory, which was pioneered by W. Thompson (1929) and later fully formalized by F. Notestein (1945).

He was the first to systematically link declining fertility with industrialization. The model of endogenous development reflects this historical evolution of population, technology, and production through three sequential regimes (Galor & Weil, 2000):

1. The Malthusian regime: where short-term income gains are quickly erased by population growth, returning society to the subsistence level.
2. The Post-Malthusian regime: where innovation outpaces resource degradation for the first time, allowing both population and living standards to grow simultaneously.
3. The Modern Growth regime: which marks the final demographic transition.

The main driver of this transition was a shift in parental choice, prioritizing child survival and success over offspring quantity. Rapid technological progress devalued the basic agricultural knowledge of previous generations. This created a high demand for quality education. This triggered a new feedback loop: investments in human capital accelerated innovation, which made education even more valuable and drove down fertility rates. Beginning in Europe around 1800, this global transition radically altered demographic structures. Within the population studied by Lee (2003) birth rates fell, aging intensified, and the share of a woman's adult life spent raising infants dropped from 70% to 14%, freeing up time for other socio-economic activities.

In conclusion, integrating the demographic transition parameter completes the logic of historical development. The system overcomes the threat of a non-linear Malthusian catastrophe or ecological overshoot not through infinite physical expansion, but through an internal, qualitative transformation: human capital accumulation and the endogenous stabilization of population size within the biosphere's carrying capacity.

Materials and Methods

The methodological structure of this study is built on the principle of step-by-step expansion and scaling of simulation models. For ease of reading, the mathematical description and algorithmic schemes for each step of the author's model are presented directly in the "Results and Discussion" section. This

allows for a synchronous comparison of specific architectural changes in the model with their corresponding graphs and simulation results.

Simulation modelling serves as the primary research tool, as it enables the analysis of non-linear processes across multi-millennial timescales, which is impossible through direct empirical observation. This work utilises a system dynamics approach rather than agent-based modelling. While the agent-based approach focuses on the discrete actions of individuals and micro-level behavioural rules, system dynamics prioritises aggregated population states (stocks) and macro-level rates of change between them (flows). This approach aligns with the systemic principles outlined by Meadows (2008), according to which the internal structure of a system, defined by a combination of positive and negative feedback loops, time lags, and resource constraints, is the primary determinant of its long-term dynamic behaviour.

Algorithmic execution, progressive model complication, and graphical data visualisation were fully implemented within the R programming environment. The baseline demographic structure relies on dividing the population into age classes (cohorts), each characterised by specific birth and death rates. This matrix serves as the foundation for the subsequent implementation of five consecutive non-linear modifications.

Results and Discussion

General structure of the "Humanity Growth" model

The "Humanity Growth" model describes the dynamics of a population consisting of several age classes (n classes), where individuals spend age_step years per class. In the model program code text provided in Appendix 1, a configuration with 9 age classes of 7 years each is selected, meaning the maximum lifespan is $9 \times 7 = 63$ years. This model focuses only on the female population; the total population size can be assumed to be approximately twice as large. Each class is characterised by $b[i]$ – fertility, defined as the expected number of newborn females per woman of class i per year and $d[i]$, representing the annual probability of death for an individual in class i .

At the beginning of the simulation, the initial number of females (N_0) is evenly distributed among all age classes. The number of individuals in the first age class may be smaller to ensure that the total population matches N_0 and each class contains an integer number of individuals.

The conceptual baseline logic of the model is shown in Fig. 1, utilising the notation standard for stock-and-flow diagrams (Meadows, 2008). Step 0 is the conceptual baseline representing exponential growth with age structure; it is not selectable via the step switch but is implicitly contained in all higher steps.

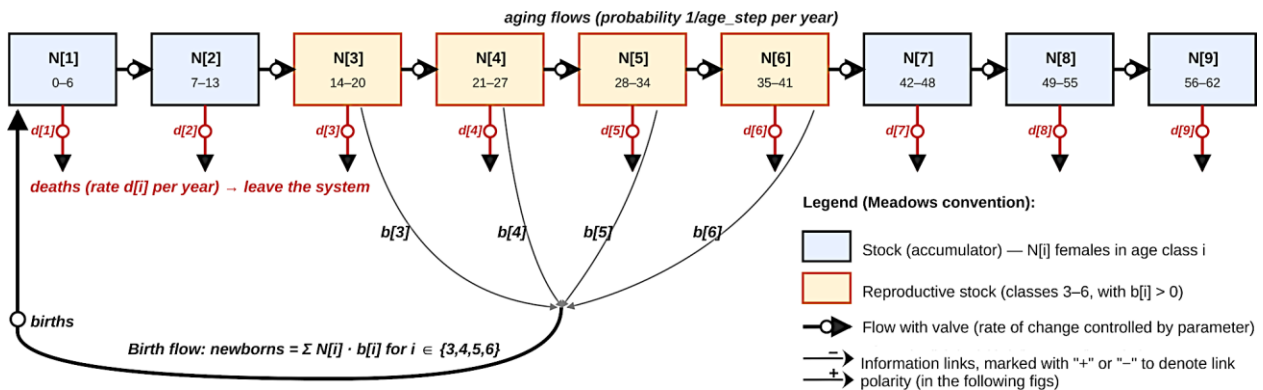


Fig 1. Step 0. A model of exponential population growth that separately accounts for birth and death rates in different age groups. Conventions according to the stock-and-flow diagram (Meadows, 2008). No feedback loops yet:

- $b[i]$ and $d[i]$ are constants (do not depend on N);
- Population grows or declines purely exponentially;
- The Malthusian parameter $r \approx b - d$ emerges from the structure.

An important element of the model is the **step** switch, which can take integer values from 1 to 5. It determines which set of regulatory assumptions for population dynamics applied during a given simulation run. Each subsequent level incorporates all the mechanisms of the previous level along with a new feature. A specific block of parameters is assigned to each step to govern its unique regulatory pathways.

The script then describes the creation of objects used for calculations and user-defined functions. These include functions for updating the carrying capacity K (for steps 3, 4, and 5), checking for sustained growth and decline of K (for step 5), and the full operating cycle of the model, which conventionally corresponds to one year of the population's life (for all steps).

The main operating loop of the model repeats as many times as specified by the ***cycles*** parameter (the simulation duration in years), unless the simulated population falls to zero. During every iteration, the size of all age classes and the values of other key variables are recorded in the ***Results*** matrix.

The output of each simulation consists of the ***Results*** matrix and a dashboard containing windows that report the conditions of the model experiment, the overall population dynamics throughout the simulation, and age structures at designated time intervals. At step 5, an additional window is added to reflect the dynamics of the demographic transition.

Step 1: Verhulst parameter (environmental carrying capacity)

The first step in constructing the simulation model involves transitioning to a logistic dependence. Fig. 2 indicates the new features implemented during this initial step.

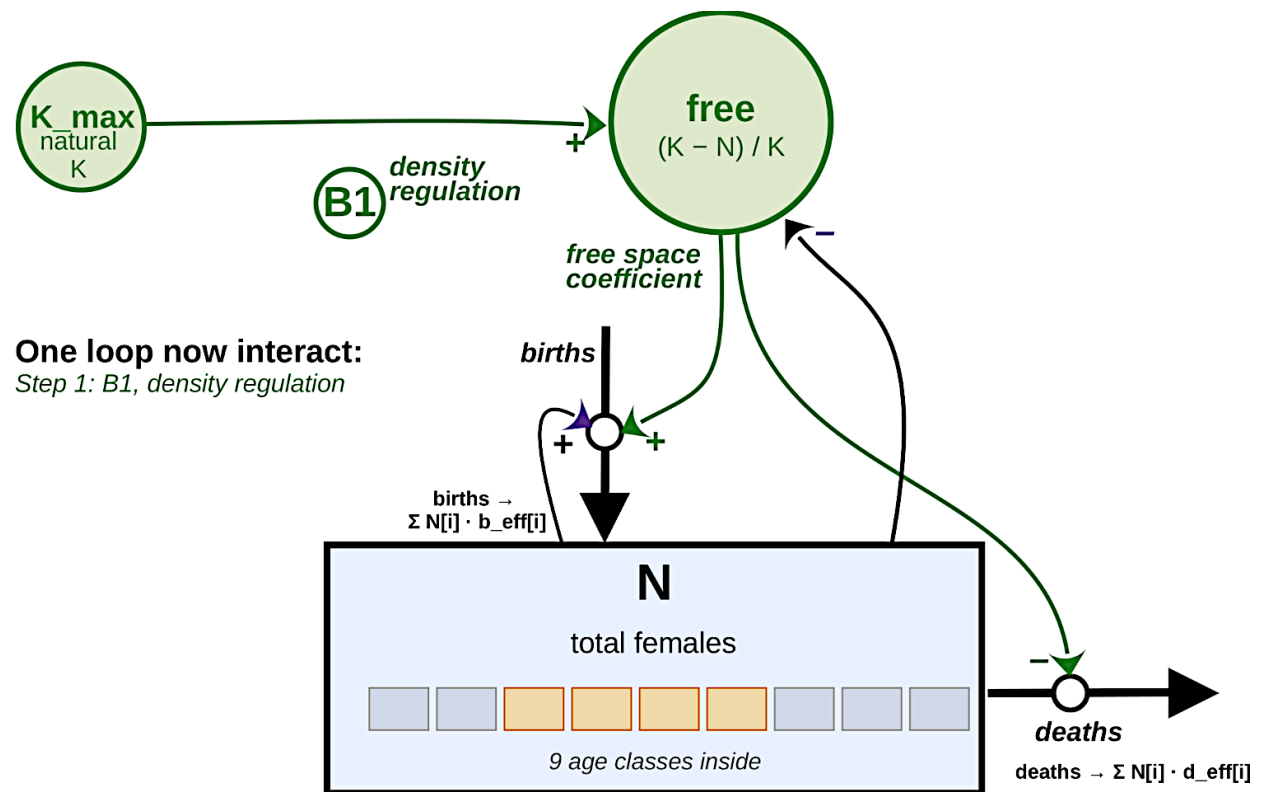


Fig 2. Step 1. Incorporating the effects of environmental carrying capacity (specified by the Verhulst parameter) on birth and death rates. New in Step 1 (vs. Step 0):

- Population ***N*** is now shown as a single aggregated stock (its internal age structure remains as in Step 0);
- New parameter ***K*** (carrying capacity) and auxiliary ***free = (K - N) / K***;
- First feedback loop: as ***N*** grows, free shrinks, which reduces births and increases deaths — population stabilizes near ***K***.

The results of modelling human dynamics for this particular phase are omitted here. The simulated population size stabilises at a level below ***K_{max}***. This outcome occurs because every age class utilizes environmental resources (decreasing the free variable), yet only specific cohorts contribute to reproduction. If the carrying capacity of the environment supports not only fertility but also mortality, the population size will stabilise at a lower threshold.

Fig. 3 displays the modifications introduced in step 2. A delay in the population's response to environmental constraints can lead to an overpopulation crisis and subsequent collapse (Fig. 4).

Step 2: "Nicholson parameter" (delay in the population's response)

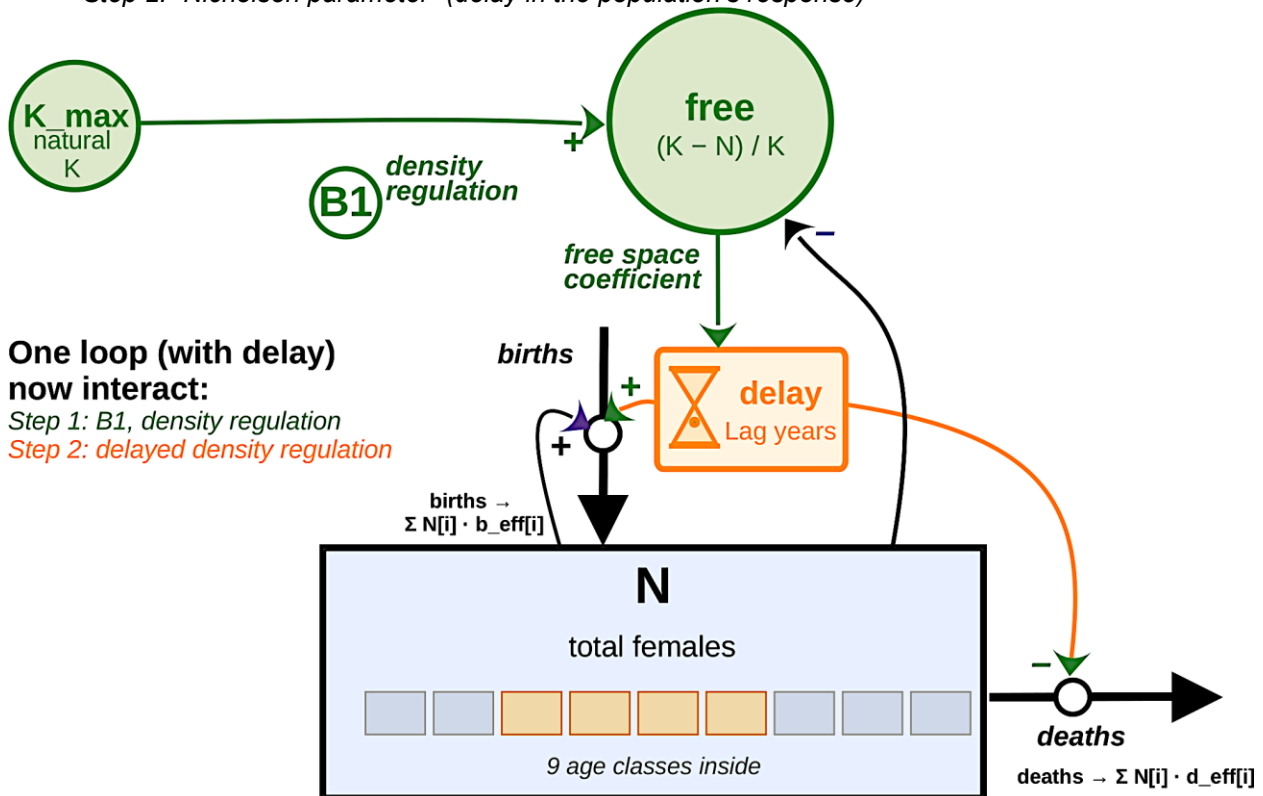


Fig 3. Step 2. Incorporating the delay in the global population's response to environmental capacity constraints (as determined by the "Nicholson parameter"). New in Step 2 (vs. Step 1):

- Environment still reacts to current N instantly: $free = (K - N) / K$ is computed from the current N ;
- But population reacts to environment with a delay (**Lag** years);
- Today's reproducers were born \sim **Lag** years ago in response to free space available back then.

The construction of Fig. 4 uses a practical opportunity for model experimentation. To evaluate model behaviour under specific input parameters, the `set.seed()` function allows users to define the initial state of the pseudorandom number generator. This ensures that the simulated system follows the exact same trajectory during repeated runs. By analysing the Results matrix, which describes this trajectory, it is possible to select specific moments in the history of the global population for closer inspection. These selected moments (which are added to the `time_points_custom` vector) are highlighted with coloured markers on the "Population dynamics" chart, and their corresponding age class distribution curves are displayed on the "Age structure" plot.

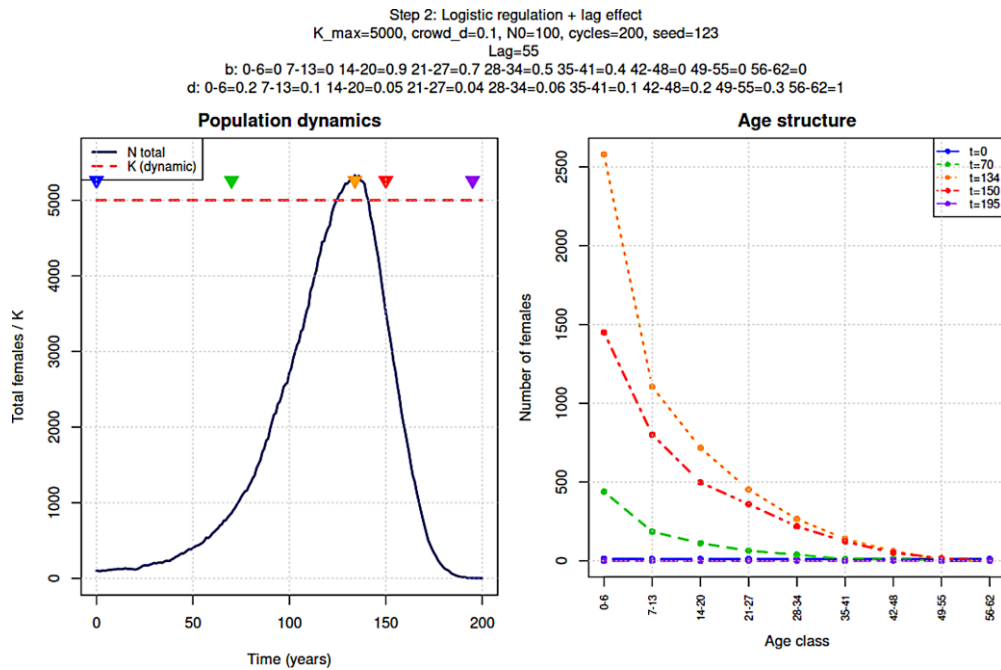


Fig. 4. Temporal delay in the simulated population's reaction to environmental limits (the Lag parameter) leads to its collapse

Even with a shorter response delay, the population can experience sharp fluctuations in size with a randomly varying amplitude. Eventually, this can drive the model population to a complete crash (Fig. 5).

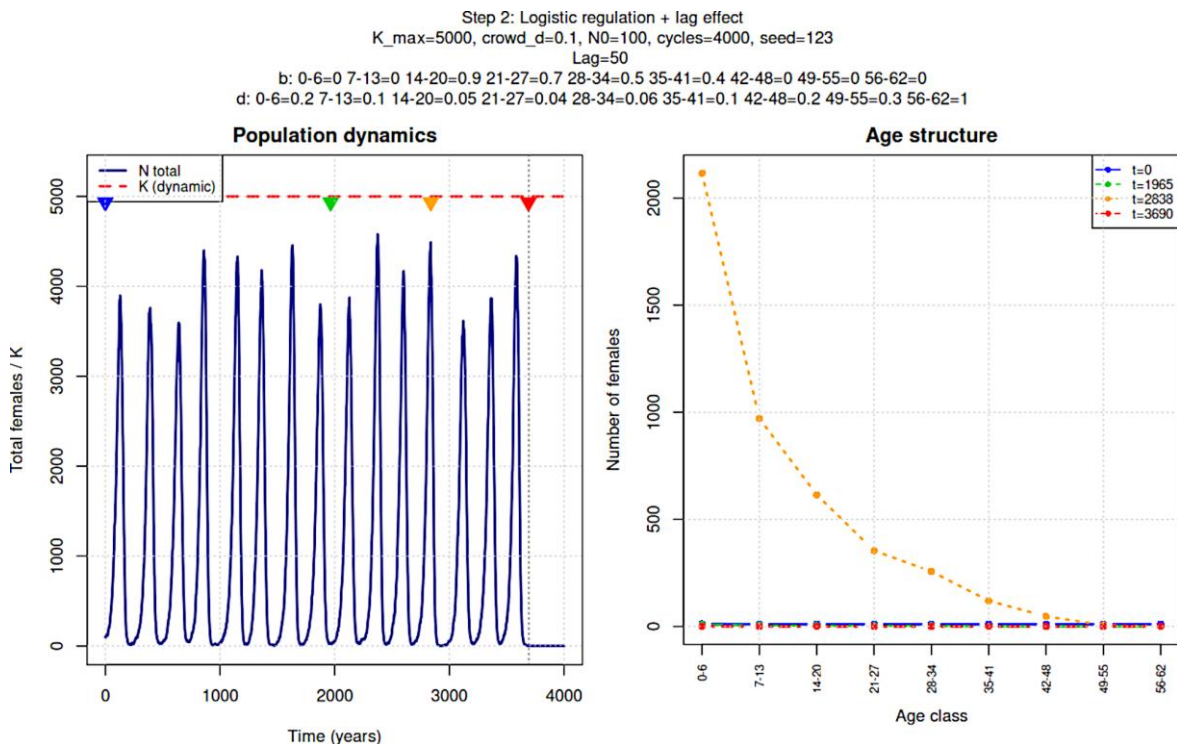


Fig. 5. A delay in the population's response to constraints led to its collapse after a series of oscillations

Step 3: "Easter Island parameter" (environment degrades in the event of an overpopulation crisis)

The next step considers the principle that a population exceeding its carrying capacity causes environmental degradation. Step 3 also takes into account the opposite scenario – the gradual recovery of

the environment, if its exploitation is not excessive. However, the typical case is likely one where recovery is a much slower process than the depletion that occurs during a Malthusian crisis. The modifications to the model at this step are illustrated in Fig. 6.

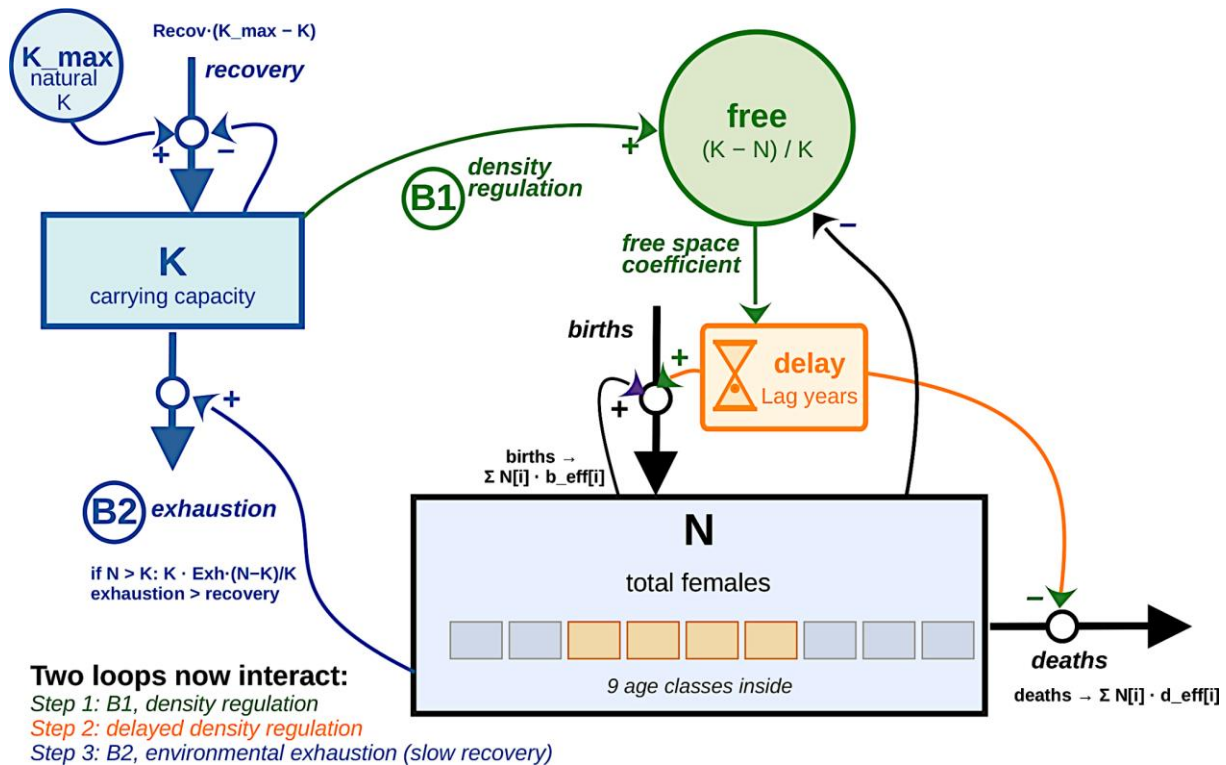


Fig 6. Step 3. Incorporating the environment degrades in the event of an overpopulation crisis (as determined by the “Easter Island parameter”). New in Step 3 (vs. Step 2):

- K is no longer a fixed parameter — it becomes a dynamic stock;
- Two new flows: recovery $(K_{max} - K) \cdot Recov$ and exhaustion;
- If N exceeds K , the environment degrades (Easter Island effect);
- Recovery is slow ($Recov \ll Exh$): damage outpaces healing.

Under such conditions, even relatively small overpopulation crises can significantly reduce population resilience and cause its collapse (Fig. 7).

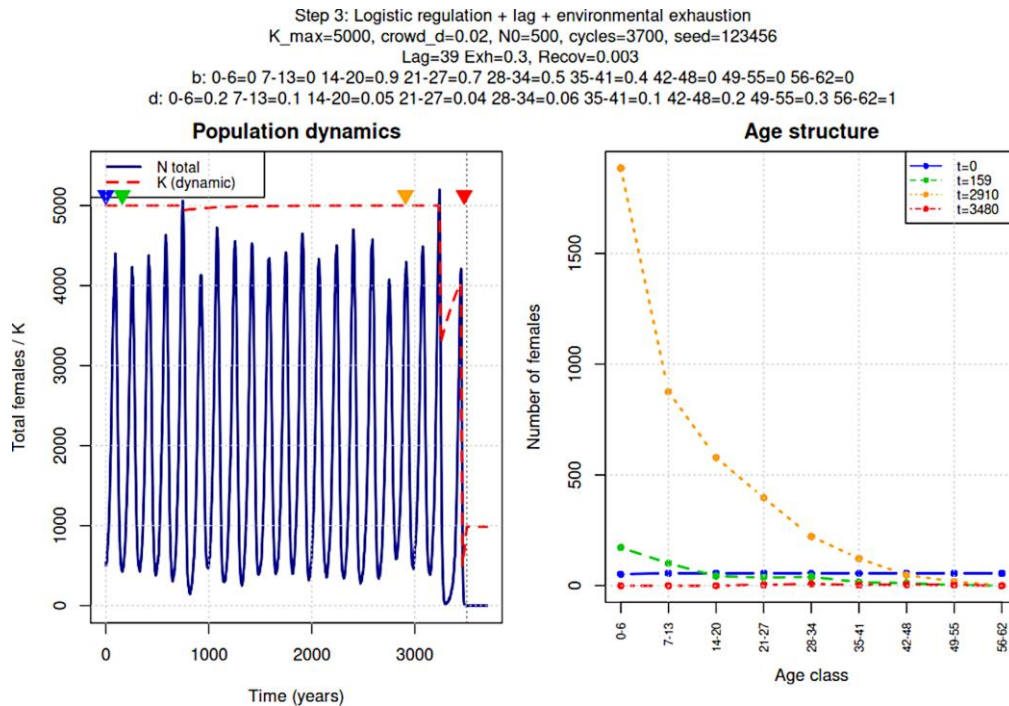


Fig. 7. The population recovered after the first two overpopulation crises but collapsed after the third

Step 4: “von Foerster parameter” (increase in environmental carrying capacity)

The hyperbolic human population growth, discovered by Heinz von Foerster (von Foerster et al., 1960), results from lifestyle changes driven by cultural evolution. Conventionally, the rate of this process can be considered proportional to the population size, as implemented in the fourth step of model complexity (Fig. 8).

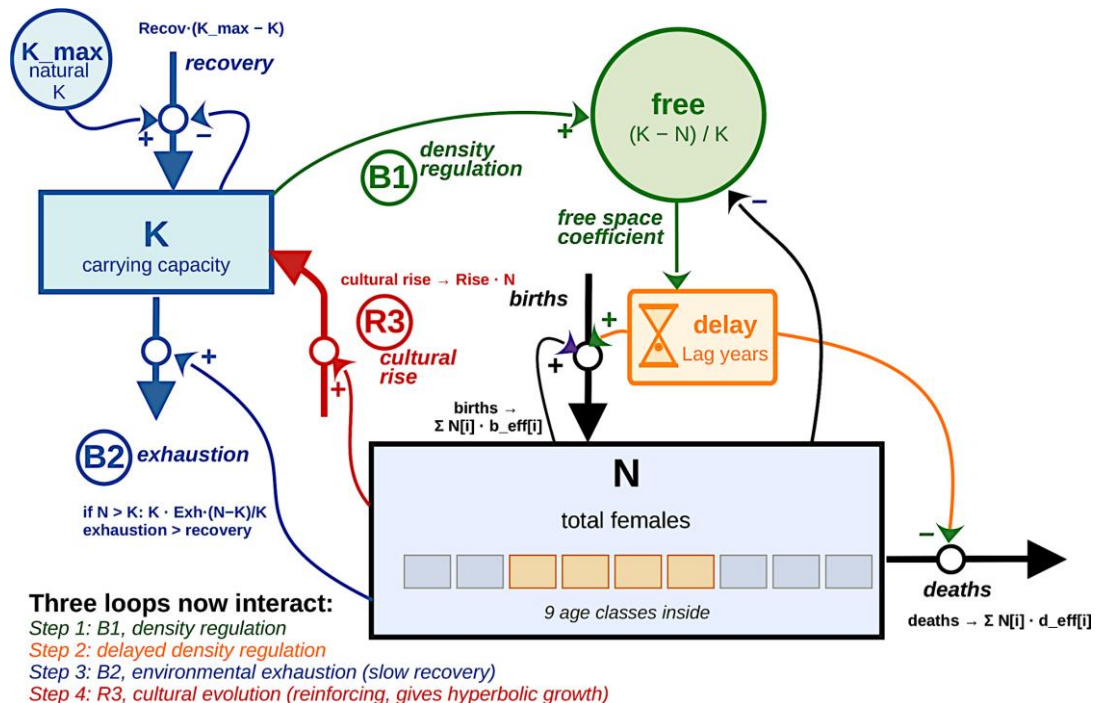


Fig 8. Step 4. Incorporating the increase in environmental carrying capacity resulting from cultural evolution, which optimizes the way of life (as determined by the “von Foerster parameter”). New in Step 4 (vs. Step 3):

- Population itself enriches K through cultural evolution;
- Rise flow adds $Rise \cdot N$ to K each cycle: more people \rightarrow more "inventors" \rightarrow faster cultural growth;
- This generates the first reinforcing (positive) feedback loop;
- Hyperbolic growth of N becomes possible (von Foerster effect).

As shown in Fig. 9, even with a continuous increase in carrying capacity, a delay in the population's response to constraints can lead to a Malthusian crisis, resource depletion, and population collapse.

Step 4: Logistic regulation + lag + exhaustion + cultural evolution
 $K_{max}=5000$, crowd_d=0.02, $N_0=500$, cycles=550, seed=1
 Lag=40 Exh=0.3, Recov=0.003 Rise=0.001
 b: 0-6=0 7-13=0 14-20=0.9 21-27=0.7 28-34=0.5 35-41=0.4 42-48=0 49-55=0 56-62=0
 d: 0-6=0.2 7-13=0.1 14-20=0.05 21-27=0.04 28-34=0.06 35-41=0.1 42-48=0.2 49-55=0.3 56-62=1

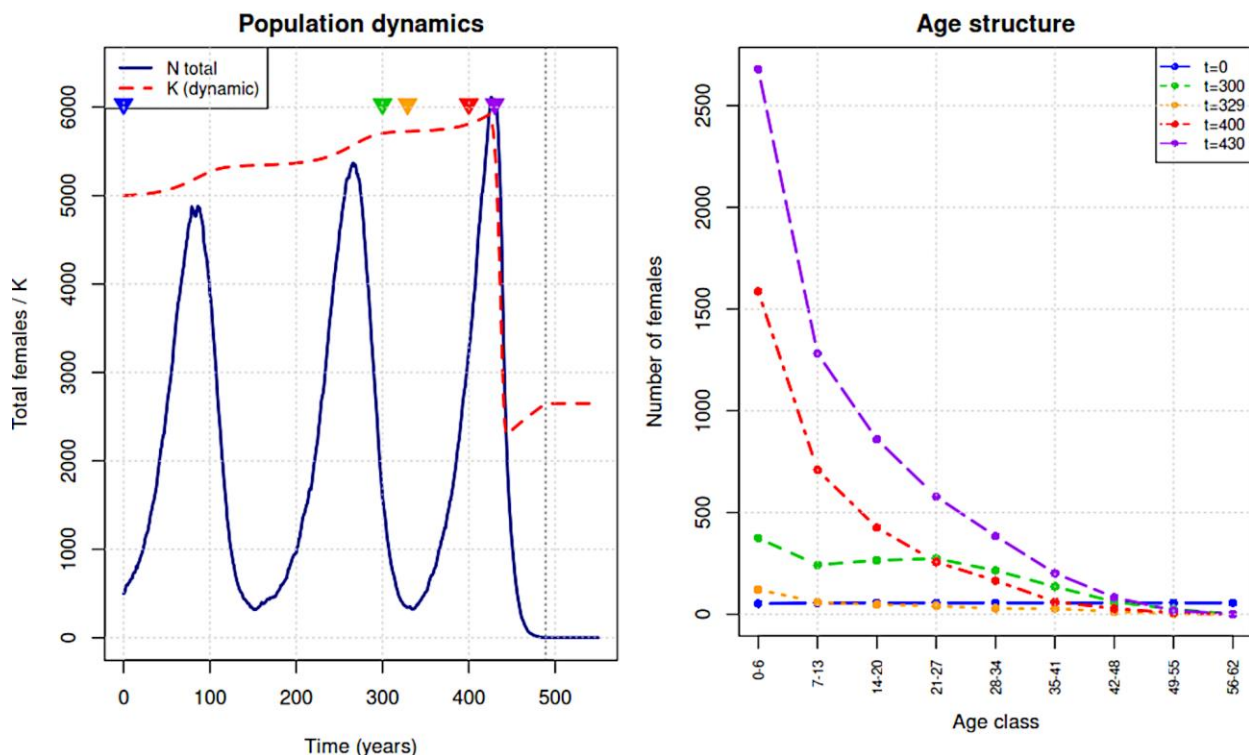


Fig. 9. Even under conditions of growing carrying capacity driven by human cultural evolution, a delay in the global population's response to external constraints can lead to the collapse of the simulated system

Step 5: "Notestein effect" (demographic transition)

The long-term sustainability of the global population depends on the demographic transition, a feature introduced in the fifth stage of refining our "Humanity Growth" model (Fig. 10).

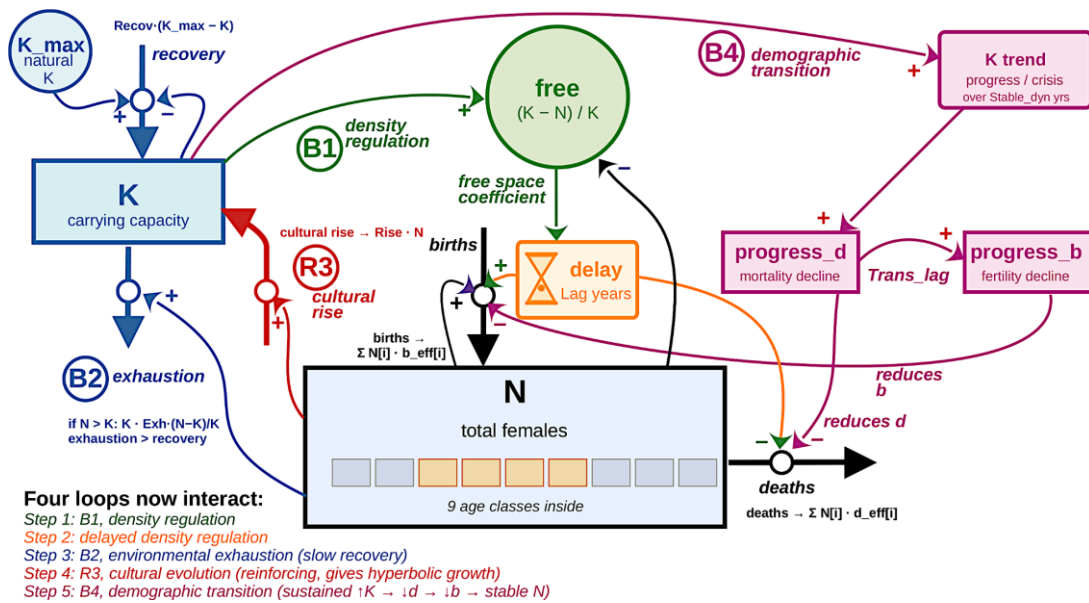


Fig 10. Step 5. Incorporating the demographic transition (“the Notestein effect”): sustained growth in environmental carrying capacity leads to a decline in mortality, followed by a decline in fertility. New in Step 5 (vs. Step 4):

- Sustained growth of K (over *Stable_dyn* years) triggers social progress: humanity adapts its reproductive behaviour;
- Stage 1: mortality declines (*progress_d* grows toward 1);
- Stage 2 (after *Trans_lag*): fertility declines (*progress_b* grows);
- Reversible only during crisis (sustained K decline).

During the fifth stage of simulation, the model population is most vulnerable precisely at the onset of the demographic transition, when mortality begins to decline while birth rates remain high.

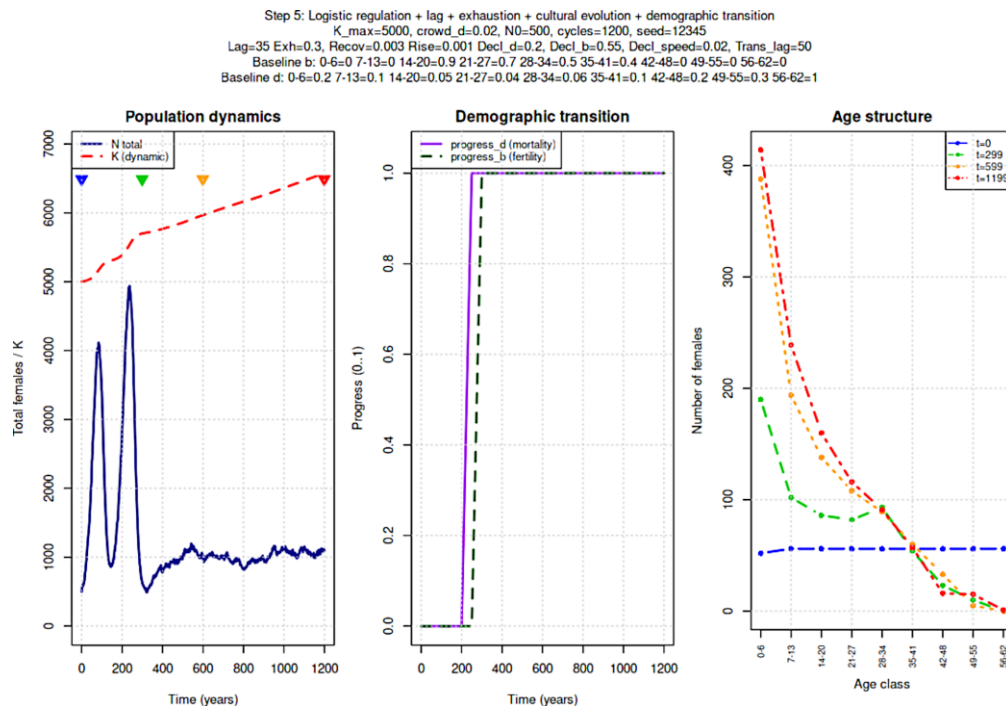


Fig. 11. The result of the demographic transition is the long-term existence of the population at a relatively stable size

Alternative approaches to model design and refinement

The model was developed step by step through interactive discussions during student classes. Throughout this process, we identified several alternative developmental paths, some of which laid the groundwork for parallel model versions separate from the one focused on here. The points below summarize these potential directions for model adjustment.

Firstly, time lags could be introduced not only into how the global population reacts to environmental shifts but also into how the environment responds to population changes.

Furthermore, the global population could be split into two or more subpopulations with differing lag periods. One segment might respond much faster than the rest, with a dynamic ratio between these groups. This concept demonstrates the idea of societal heterogeneity: its different components adapt to new conditions in distinct ways.

The method for evaluating technological progress was a subject of debate. In our current implementation, progress is represented as a sustained increase in carrying capacity. However, it could also be assessed based on the state of the global population (for instance, its long-term, gradual growth without fluctuations in size).

Another open question is the unrestricted growth of carrying capacity due to culturally evolved lifestyle shifts, which characterises the current model version. An upper limit on carrying capacity could be introduced (representing the absolute ceiling of human population the planet can sustain under any lifestyle). This constraint should not act instantaneously, though the exact mechanism requires further definition. Alternatively, a **Stability** parameter could be introduced to pull the carrying capacity back toward its baseline value K_0 .

We believe it would be highly productive to account for the Jevons paradox (Jevons, 1866), which posits that improvements in resource efficiency actually accelerate total consumption.

It should be noted that even at step 5, the simulated population dynamics deviate substantially from actual historical trends of global humanity. The most crucial difference is that real-world demographic shifts occur at a much slower pace, preventing the population from entering periodic oscillation cycles. However, further application of the chosen approach and the addition of new regulatory mechanisms could likely make the model population dynamics more adequate for studying human history. Is such a model valuable when its highly simplified regulatory feedback loops lead to less-than-perfect predictive accuracy? We argue that it is. The primary value of this model lies in its ability to isolate and determine the effects of each applied mechanism.

One way to overcome this limitation is to divide the global population into a certain number of subpopulations, each with its own dynamics. This concept can be expanded by incorporating population redistribution across groups (migration) and resource reallocation (transferring parts of unused carrying capacity, factoring in a certain efficiency loss).

Segmenting the global population into distinct subpopulations opens up the possibility of modelling varied developmental stages, each yielding an incremental boost to carrying capacity. For instance, several "phase transitions" can be identified in this process. Beginning with a baseline state (an opportunistic hunter-gatherer), a series of technological revolutions can be introduced, such as "Prometheus" (the use of fire), "Gaia" (the agrarian transition), "Hephaestus" (iron tools), "Hermes" (roads, logistics, trade), "Aeolus" (the steam engine), and "Zeus" (electrification).

Conclusions

The "Humanity Growth" model evolved as a hands-on pedagogical experiment, co-developed alongside Master's and PhD students within a simulation modelling course at V. N. Karazin Kharkiv National University. Our primary goal was not to deliver a forecasting tool, but rather to design an intuitive, modular framework that allows users to clearly trace how demographic and ecological factors drive complex system behaviour.

The step-by-step complication of the model architecture – progressing from basic Malthus exponential growth to integrating the Verhulst, Nicholson, and Notestein parameters – enabled us to evaluate each feedback loop in isolation. Our findings confirm that even against a background of culturally driven capacity expansion, response delays remain a critical vulnerability that can plunge the system into overshoot and crisis. The model also shows that the beginning of the demographic transition (when death rates drop but birth rates stay high) can be a highly unstable phase on the way to long-term stability.

Due to the intentional simplification of our baseline algorithms, the simulated population dynamics depart from the much smoother history of real humanity. However, this very simplicity removed distracting noise and made the underlying feedback loops easy to see. The current model framework serves as an

open platform for future refinement, such as introducing subpopulations, migration dynamics, or Jevons' paradox. Finally, designing, critiquing, and testing this model together with Master's and PhD students proves that this interactive format is an exceptionally productive pedagogical tool within biosystem simulation modelling curricula.

References

- Abramitzky R., Braggion F. (2003). *Malthusian and neo-Malthusian theories*. Retrieved on June 22, 2020.
- Anderies J.M. (2000). On modeling human behavior and institutions in simple ecological economic systems. *Ecological Economics*, 35(3), 393–412. [https://doi.org/10.1016/S0921-8009\(00\)00221-4](https://doi.org/10.1016/S0921-8009(00)00221-4)
- Berryman A.A. (1999). *Principles of population dynamics and their application* (1st ed.). Garland Science. <https://doi.org/10.1201/9781003062790>
- Boserup E. (1965). *The conditions of agricultural growth: The economics of agrarian change under population pressure*. Aldine, Chicago. <https://doi.org/10.4324/9781315070360>
- Brander J.A., Taylor M.S. (1998). The simple economics of Easter Island: A Ricardo-Malthus model of renewable resource use. *American Economic Review*, 88(1), 119–138.
- Brandt G., Merico A. (2015). The slow demise of Easter Island: insights from a modeling investigation. *Frontiers in Ecology and Evolution*, 3, 13. <https://doi.org/10.3389/fevo.2015.00013>
- Cohen J.E. (1998). How many people can the Earth support? *Bulletin of the American Academy of Arts and Sciences*, 51(4), 25–39. <https://doi.org/10.2307/3824523>
- Diamond J. (2005). *Collapse: How societies choose to fail or succeed*. Viking Press, New York.
- Galor O., Weil D.N. (2000). Population, technology, and growth: From Malthusian stagnation to the demographic transition and beyond. *American Economic Review*, 90(4), 806–828. <https://doi.org/10.1257/aer.90.4.806>
- Guo Z., Zhang L., Li Y. (2010). Increased dependence of humans on ecosystem services and biodiversity. *PLOS One*, 5(10). <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0013113>
- Hutchinson G.E. (1948). Circular causal systems in ecology. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 50(4), 221–246. <https://doi.org/10.1111/j.1749-6632.1948.tb39854.x>
- Jevons W.S. (1866). VII. *The Coal Question*. London: Macmillan and Company.
- Kravchenko M.O., Nesterenko K.O., Shabanov D.A. (2024). A school that prepares for sustainability management: the case of the Palau model. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 1415, 012012. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1415/1/012012>
- Kremer M. (1993). Population growth and technological change: One million BC to 1990. *The Quarterly Journal of Economics*, 108(3), 681–716. <https://doi.org/10.2307/2118405>
- Lee R. (2003). The demographic transition: three centuries of fundamental change. *Journal of Economic Perspectives*, 17(4), 167–190. <https://doi.org/10.1257/089533003772034943>
- Lidicker W.Z. Jr. (2020). A scientist's warning to humanity on human population growth. *Global Ecology and Conservation*, 24, e01232. <https://doi.org/10.1016/j.gecco.2020.e01232>
- Malthus T.R. (1798). *An Essay on the Principle of Population*. J. Johnson, London.
- May R.M. (1976). Simple mathematical models with very complicated dynamics. *Nature*, 261(5560), 459–467. <https://doi.org/10.1038/261459a0>
- Meadows D., Randers J., Meadows D. (2004). *A synopsis: Limits to growth: The 30-year update*. Chelsea Green Publishing Company: 381 pp.
- Meadows D.H. (2008). *Thinking in systems: A primer*. Wright D., ed. Chelsea Green Publishing: 217 pp.
- Nicholson A.J. (1954). An outline of the dynamics of animal populations. *Australian Journal of Zoology*, 2(1), 9–65. <https://doi.org/10.1071/ZO9540009>
- Notestein F.W. (1945). Population – The long view. In: *Schultz T.W., ed. Food for the World*. University of Chicago Press, Chicago: 36–57.
- Pelagalli C., Faccio S., Casari P. (2025). Mathematical modeling and simulation of logistic growth. *Applied Sciences*, 15(8), 4409. <https://doi.org/10.3390/app15084409>
- Quinlan M. (2020). Five challenges to humanity: Learning from pattern/repeat failures in past disasters? *The Economic and Labour Relations Review*, 31(3), 444–466. <https://doi.org/10.1177/1035304620944301>
- R Core Team (2023). R: A language and environment for statistical computing. *R Foundation for Statistical Computing*, Vienna, Austria. <https://www.R-project.org/>
- Rees W.E. (2002). Is humanity fatally successful? *Journal of Business Administration and Policy Analysis*, 30(31), 67–100.
- Shabanov D., Biriuk I., Bulba I., Kravchenko M., Nesterenko K., Vus N., Shabanov V. (2025). Typology of experimental simulation models in population ecology: Analyzing individual and group selection within the framework of Simpson's paradox. In: *Ermolayev V. et al., eds. Information and Communication Technologies*

in *Education, Research, and Industrial Applications. ICTERI 2024. Communications in Computer and Information Science*, vol 2359. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-031-81372-6_7

Sojecka A.A., Drozd-Rzoska A. (2025). Verhulst-type equation and the universal pattern for global population growth. *PLOS One*, 20(5), e0323165. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0323165>

Thompson W.S. (1929). Population. *American Journal of Sociology*, 34(6), 959–975. <https://doi.org/10.1086/214874>

Turchin P. (2013). *Complex population dynamics: a theoretical/empirical synthesis*. Princeton University Press.

Unat E. (2020). A review of Malthusian theory of population under the scope of human capital. *FORCE: Focus on Research in Contemporary Economics*, 1(2), 132–147.

Verhulst P.F. (1838). Notice sur la loi que la population suit dans son accroissement. *Correspondance Mathématique et Physique (Ghent)*, 10, 113–121.

Von Foerster H., Mora P.M., Amiot L.W. (1960). Doomsday: Friday, 13 November, AD 2026. *Science*, 132(3436), 1291–1295. <https://doi.org/10.1126/science.132.3436.1291>

Appendix 1

```
# HUMAN POPULATION DYNAMICS (TYPE I MODEL).
# The model covers five steps of increasing complexity in the regulation of human population. Only females are modelled.
# The step is chosen by a single parameter step (from 1 to 5). Each subsequent step includes all mechanisms of the previous ones.
# STEP 1: LOGISTIC REGULATION — resource limitation through K (carrying capacity). Population approaches K and stabilizes there.
# STEP 2: + LAG EFFECT — population responds to its own size with a delay of Lag years, which generates oscillations and possible overshoots of K.
# STEP 3: + ENVIRONMENTAL EXHAUSTION — when N exceeds K, K itself degrades ("Easter Island effect"). It recovers slowly when N <= K.
# STEP 4: + CULTURAL EVOLUTION — K grows each cycle by an amount proportional to the population size, producing hyperbolic growth due to lifestyle optimization.
# STEP 5: + DEMOGRAPHIC TRANSITION — sustained growth of K first reduces mortality, then (after a delay) fertility.
# INITIAL SCRIPT COMMANDS:
rm(list = ls()) # Clear the environment of previous variables
seed_value <- 12345 # NA for a random run, or an initial value of the random number generator for reproducibility
if (!is.na(seed_value)) set.seed(seed_value)
# E N T R A N C E
# STEP SELECTION (from 1 to 5):
step <- 5
if (!step %in% 1:5) stop("step must be an integer from 1 to 5") # Validity check
use_lag <- step >= 2 ; use_exhaustion <- step >= 3; use_culture <- step >= 4; use_demographic <- step >= 5 # Derived logical flags...
# MAIN PARAMETERS:
n_classes <- 9 # number of age classes in the model
age_step <- 7 # duration of one age class in years; all classes have equal duration
b <- c(0.00, 0.00, 0.90, 0.70, 0.50, 0.40, 0.00, 0.00, 0.00) # Baseline fertility b[i] — expected number of newborn females per female of class i per year
d <- c(0.2, 0.1, 0.05, 0.04, 0.06, 0.1, 0.2, 0.3, 1.00) # Baseline mortality d[i] — probability of death of an individual of class i per year
N0 <- 500 # Initial number of females in the population
# EXPERIMENTAL CONDITIONS:
cycles <- 1200 # Simulation length in years
# time_points_custom <- c(0, 300, 329, 400, 430) # Optionally uncomment and specify 3 to 7 cycle numbers to be displayed on the Age structure diagram; if commented out, 4 default points are used (0%, 25%, 50%, 100% of cycles)
if (!exists("time_points_custom")) time_points_custom <- NULL
# PARAMETERS USED IN CERTAIN STEPS
# Logistic regulation parameters (step 1, always active regardless of step):
K_max <- 5000 # Verhulst parameter: initial carrying capacity; the number of females that the environment can sustain without degradation. In steps 1–3 it is a constant; in steps 4–5 K can grow due to cultural evolution
K_min <- K_max * 0.1 # Absolute lower bound for K (1% of K_max); guards against unbounded decline
crowd_d <- 0.02 # Intensity of crowding effect on mortality; as N approaches K, mortality increases by (1-d)*crowd_d; if crowd_d=0, regulation occurs only through fertility limitation
# Lag parameter (step 2 and above; ignored if step < 2):
Lag <- 35 # Conventional name: Nicholson's parameter; the number of years by which the population's response to its own size is delayed
# Exhaustion parameters (step 3 and above; ignored if step < 3):
Exh <- 0.3 # Conventional name: Easter Island parameter; intensity of environmental exhaustion when N exceeds K, according to K_new = K*(1 - Exh*(N-K)/K); larger Exh means faster environmental degradation during overpopulation crises
Recov <- 0.003 # Rate of slow recovery of K toward K_max when N <= K; must be significantly smaller than Exh, as exhaustion is faster than recovery
# Cultural evolution parameters (step 4 and above; ignored if step < 4):
```

```
Rise <- 0.001 # Conventional name: von Foerster's parameter; intensity of cultural evolution that depends on the number of
"inventors"; K grows by Rise*N per cycle, producing hyperbolic growth of humanity: the more people, the faster cultural
evolution proceeds
# Notestein parameters, demographic transition (step 5; ignored if step < 5):
Stable_dyn <- 200 # Window length (cycles) for detecting sustained dynamics of K, filtering out short-term fluctuations
min_dyn <- 0.05 # Threshold of relative change in K over Stable_dyn; if K grew by min_dyn — sustained demographic
progress; if K fell by min_dyn — demographic crisis
Trans_lag <- 50 # Delay (cycles) between the start of stage 1 (mortality decline) and stage 2 (fertility decline)
Decl_d <- 0.2 # Maximum relative decline of mortality at full demographic transition (0.7 means d may fall to 30% of baseline)
Decl_b <- 0.55 # Maximum relative decline of fertility at full demographic transition
Decl_speed <- 0.02 # Speed of demographic transition per cycle (at 0.01 a full transition takes about 100 cycles)
# W O R K S P A C E
# GENERAL OBJECTS CREATION:
N <- round(rep(N0 / n_classes, n_classes))
N[1] <- N0 - sum(N[-1]) # Initial uniform distribution of N0 individuals across age classes
K <- K_max # current carrying capacity; starts from K_max
progress_d <- 0 # current progress of mortality decline due to demographic transition
progress_b <- 0 # current progress of fertility decline due to demographic transition
stage1_t <- NA # cycle at which the progress trigger (stage 1) was first activated
collapsed <- FALSE; collapse_t <- NA # Population collapse flags
Results <- matrix(NA, nrow = cycles + 1, ncol = n_classes + 4, dimnames = list(0:cycles, c(paste0("class_", 1:n_classes),
"N_total", "K", "progress_d", "progress_b"))) # Matrix to store the full state of the system at every cycle
Results[1, ] <- c(N, sum(N), K, progress_d, progress_b) # Fill the first row of Results
# USERS FUNCTION CREATION:
update_K <- function(K, N_total, K_max, K_min, Exh, Recov, Rise, step) { # Update K for one cycle
  switch(as.character(step),
    "1" = K, # For step 1 K is constant
    "2" = K, # For step 2 K is constant
    "3" = { # Step 3: exhaustion or slow recovery
      if (N_total > K) { K_new <- K * (1 - Exh * (N_total - K) / K) # Relative exhaustion: scales with current K
      } else { K_new <- K + Recov * (K_max - K) } # Slow return to K_max
      max(K_min, K_new) }, # Lower bound for K
    "4" = , # Step 4 uses the same logic as step 5 (switch syntax: an empty branch passes control to the next one)
    "5" = { # Steps 4 and 5: exhaustion/recovery + cultural evolution
      if (N_total > K) { K_new <- K * (1 - Exh * (N_total - K) / K) + Rise * N_total # When N > K: exhaustion is proportional to
      relative overshoot, cultural growth is proportional to the number of inventors
      } else if (K < K_max) { K_new <- K + Recov * (K_max - K) + Rise * N_total # When N <= K and K < K_max: natural recovery
      toward K_max + cultural growth proportional to N
      } else { K_new <- K + Rise * N_total } # When N <= K and K >= K_max: only cultural growth, determined by the population size
      max(K_min, K_new) } ) }
check_progress_trigger <- function(K_history, t, Stable_dyn, min_dyn) { # Check for sustained growth of K (to start the
demographic transition)
  if (t <= Stable_dyn) return(FALSE) # Until enough history has accumulated, the trigger cannot fire
  K_now <- K_history[t + 1] # Current K (at cycle t)
  K_past <- K_history[t + 1 - Stable_dyn] # K Stable_dyn cycles ago
  if (is.na(K_now) || is.na(K_past) || K_past <= 0) return(FALSE) # Guard against NA and zero values
  return(K_now > K_past * (1 + min_dyn)) # Progress condition: K grew by the required percentage
check_crisis_trigger <- function(K_history, t, Stable_dyn, min_dyn) { # Check for sustained decline of K (a crisis that
reverses the demographic transition)
  if (t <= Stable_dyn) return(FALSE)
  K_now <- K_history[t + 1]
  K_past <- K_history[t + 1 - Stable_dyn]
  if (is.na(K_now) || is.na(K_past) || K_past <= 0) return(FALSE)
  return(K_now < K_past * (1 - min_dyn)) # Crisis condition: K fell by the required percentage
full_cycle <- function(N, b_dem, d_dem, n_classes, age_step, K, crowd_d, N_lag) { # One full cycle of the model (1 year of
population life)
  N_new <- numeric(n_classes) # Final N vector
  N_surv <- numeric(n_classes) # Survivors
  N_staying <- numeric(n_classes) # Those who stayed in their class
  N_aging <- numeric(n_classes) # Those who moved to the next class
  free <- (K - N_lag) / K # Fraction of free environmental capacity; negative when N_lag > K (overpopulation crisis)
  b_eff <- pmin(b_dem, pmax(0, d_dem + (b_dem - d_dem) * free)) # Effective fertility: linear interpolation between d_dem (at
N_lag=K) and b_dem (at N_lag=0)
  d_eff <- pmin(1, pmax(d_dem, d_dem + (1 - d_dem) * (1 - free) * crowd_d)) # Effective mortality: rises as N_lag -> K
  through crowd_d, even more when N_lag > K
  for (i in 1:n_classes) {N_surv[i] <- rbinom(1, size = N[i], prob = 1 - d_eff[i])} # Binomially stochastic mortality: each individual
of class i survives independently with probability (1 - d_eff[i])
  for (i in 1:n_classes) { # Binomially stochastic aging. Each living individual moves to the next class with probability 1/age_step
  N_aging[i] <- rbinom(1, size = N_surv[i], prob = 1 / age_step)
  N_staying[i] <- N_surv[i] - N_aging[i] }
```

```

newborns <- sum(sapply(1:n_classes, function(i) rpois(1, lambda = N_surv[i] * b_eff[i]))) # Poisson-distributed births (sum of
random newborn counts across classes)
N_new[1] <- newborns + N_staying[1]
for (i in 2:n_classes) { N_new[i] <- N_staying[i] + N_aging[i - 1] } # Assemble the final vector (class 1 = newborns + those who
stayed in class 1; classes 2..last = those who stayed in their class + those who moved up from the previous class; individuals
leaving the last class are lost)
return(N_new) }
# W O R K F L O W
# MAIN WORK CYCLE:
for (t in 1:cycles) {
  if (use_lag) { # The N value to which the population "responds" in this cycle; if use_lag=TRUE from history, otherwise
current
  lag_row <- t - Lag
  if (lag_row < 1) { N_lag <- N0 # Until enough history has accumulated — initial N value
  } else { N_lag <- Results[lag_row, "N_total"] } # N_total from cycle t-Lag
  } else { N_lag <- sum(N) } # Without lag: current N
  if (!collapsed) { # K dynamics stop together with the population: without people there is no cultural evolution and no environmental
impact
  K <- update_K(K, sum(N), K_max, K_min, Exh, Recov, Rise, step) }
  Results[t + 1, "K"] <- K # Store K in any case (for correct plots — a frozen line after collapse)
  if (use_demographic) { # Demographic transition only in step 5
  progress_trigger <- check_progress_trigger(Results[, "K"], t, Stable_dyn, min_dyn) # Check the triggers based on K history
  crisis_trigger <- check_crisis_trigger(Results[, "K"], t, Stable_dyn, min_dyn)
  if (progress_trigger) { # Mortality changes (grows during sustained progress, falls during sustained crisis)
  if (is.na(stage1_t)) stage1_t <- t # Record the start of changes
  progress_d <- min(1, progress_d + Decl_speed)
  } else if (crisis_trigger) { progress_d <- max(0, progress_d - Decl_speed)
  if (progress_d == 0) stage1_t <- NA } # Reset the marker when changes stop
  stage2_active <- progress_trigger && !is.na(stage1_t) && (t - stage1_t >= Trans_lag) # Fertility changes (if mortality
changes have lasted Trans_lag cycles)
  if (stage2_active) { progress_b <- min(1, progress_b + Decl_speed)
  } else if (crisis_trigger) { progress_b <- max(0, progress_b - Decl_speed) }
  d_dem <- d * (1 - Decl_d * progress_d) # Demographic correction of mortality
  b_dem <- b * (1 - Decl_b * progress_b) # Demographic correction of fertility
  } else { d_dem <- d; b_dem <- b } # Without demographic transition
  if (!collapsed) { # Life cycle of the population, if it has not collapsed
  N <- full_cycle(N, b_dem, d_dem, n_classes, age_step, K, crowd_d, N_lag)
  if (sum(N) < 1) { message("Population collapsed at cycle ", t)
  collapsed <- TRUE; collapse_t <- t
  N <- rep(0, n_classes) } } # If the population has collapsed, N remains zero and K is frozen at the last value
  Results[t + 1, ] <- c(N, sum(N), K, progress_d, progress_b) } # Store the full system state in Results
# F I N I S H I N G
# RESULTS VISUALIZATION:
step_label <- switch(as.character(step), # Step name for the plot title
"1" = "1: Logistic regulation",
"2" = "2: Logistic regulation + lag effect",
"3" = "3: Logistic regulation + lag + environmental exhaustion",
"4" = "4: Logistic regulation + lag + exhaustion + cultural evolution",
"5" = "5: Logistic regulation + lag + exhaustion + cultural evolution + demographic transition")
age_labels <- paste0(seq(0, (n_classes - 1) * age_step, by = age_step), "-",
seq(age_step - 1, n_classes * age_step - 1, by = age_step)) # Age class labels for the X axis of the age structure plot
params_line1 <- paste0("K_max=", K_max, ", crowd_d=", crowd_d, ", N0=", N0, ", cycles=", cycles,
if (!is.na(seed_value)) paste0(", seed=", seed_value) else "") # Title line 1: general parameters
params_line2 <- "" # Title line 2: parameters of the mechanisms active at the current step
if (step >= 2) params_line2 <- paste0(params_line2, "Lag=", Lag, " ")
if (step >= 3) params_line2 <- paste0(params_line2, "Exh=", Exh, ", Recov=", Recov, " ")
if (step >= 4) params_line2 <- paste0(params_line2, "Rise=", Rise, " ")
if (step >= 5) params_line2 <- paste0(params_line2, "Decl_d=", Decl_d, ", Decl_b=", Decl_b, ", Decl_speed=", Decl_speed,
", Trans_lag=", Trans_lag)
b_label <- if (step == 5) "Baseline b" else "b" # Title lines 3-4: b and d vectors across age classes; for step 5 these are
baseline values
d_label <- if (step == 5) "Baseline d" else "d"
params_line3 <- paste0(b_label, ":", paste(paste0(age_labels, "=", b), collapse = " "))
params_line4 <- paste0(d_label, ":", paste(paste0(age_labels, "=", d), collapse = " "))
title_text <- paste0("Step ", step_label, "\n", # Single title with line breaks
params_line1,
if (nchar(params_line2) > 0) paste0("\n", params_line2) else "",
"\n", params_line3, "\n", params_line4)
if (use_demographic) { # Window layout: top row — title, below — plots (three for step 5, two for steps 1-4)
layout(matrix(c(1, 1, 1, 2, 3, 4), nrow = 2, byrow = TRUE), heights = c(0.18, 1))

```

```
} else { layout(matrix(c(1, 1, 2, 3), nrow = 2, byrow = TRUE), heights = c(0.18, 1)) }
par(mar = c(0, 0, 0, 0)) # Panel 1: title with all parameters and b, d vectors
plot.new()
text(0.5, 0.5, title_text, cex = 1, font = 1, adj = c(0.5, 0.5))
par(mar = c(4, 4, 2, 1)) # Panel 2: population dynamics and K dynamics
y_max <- max(max(Results[, "N_total"], na.rm = TRUE), max(Results[, "K"], na.rm = TRUE)) * 1.05
plot(0:cycles, Results[, "N_total"], type = "l", lwd = 2, col = "darkblue", ylim = c(0, y_max), xlab = "Time (years)", ylab = "Total
females / K", main = "Population dynamics")
lines(0:cycles, Results[, "K"], lwd = 2, lty = 2, col = "red") # Dynamic K — dashed red line
if (!is.na(collapse_t)) abline(v = collapse_t, lty = 3, col = "grey40") # Mark the moment of collapse, if any
legend("topleft", legend = c("N total", "K (dynamic)", col = c("darkblue", "red"), lty = c(1, 2), lwd = 2, cex = 0.85)
if (is.null(time_points_custom)) { # If custom time points are not specified — default 4 points
  time_points_marks <- round(c(1, cycles / 4, cycles / 2, cycles), 0)
} else { time_points_marks <- time_points_custom + 1 } # Custom moments + 1 (since row 1 of the matrix corresponds to t=0)
time_points_marks <- time_points_marks[time_points_marks >= 1 & time_points_marks <= cycles + 1] # Guard against out-
of-range values
if (length(time_points_marks) < 3 || length(time_points_marks) > 7) stop("time_points_custom must contain 3 to 7 values
within [0, cycles]") # Check count
colors_palette <- c("blue", "green3", "orange", "red", "purple", "brown", "magenta") # Up to 7 colors
colors_marks <- colors_palette[seq_along(time_points_marks)]
points(time_points_marks - 1, rep(y_max * 0.94, length(time_points_marks)), pch = 25, bg =
colors_marks[seq_along(time_points_marks)], col = colors_marks[seq_along(time_points_marks)], cex = 1.5)
grid()
if (use_demographic) { # Panel 3 (if use_demographic=TRUE)
  par(mar = c(4, 4, 2, 1))
  plot(0:cycles, Results[, "progress_d"], type = "l", lwd = 2, col = "purple", ylim = c(0, 1.05), xlab = "Time (years)", ylab =
"Progress (0..1)", main = "Demographic transition")
  lines(0:cycles, Results[, "progress_b"], lwd = 2, lty = 2, col = "darkgreen")
  legend("topleft", legend = c("progress_d (mortality)", "progress_b (fertility)", col = c("purple", "darkgreen"), lty = c(1, 2), lwd = 2, cex
= 0.85)
  grid()
}
par(mar = c(5, 4, 2, 1)) # Final panel: age structure at the chosen time points
matplot(1:n_classes, t(Results[time_points_marks, 1:n_classes]), type = "b", pch = 16, lwd = 2, col =
colors_marks[seq_along(time_points_marks)], xaxt = "n", xlab = "Age class", ylab = "Number of females", main = "Age
structure")
axis(1, at = 1:n_classes, labels = age_labels, las = 2, cex.axis = 0.7)
legend("topright", legend = paste0("t=", time_points_marks - 1), col = colors_marks, lty = seq_along(time_points_marks),
pch = 16, cex = 0.8)
grid()
layout(1) # Return to the default graphical layout
```

Від пастки Мальтуса до демографічного переходу: освітні та наукові аспекти університетського курсу з моделювання

К.О. Нестеренко, Д.О. Головня, М.О. Кравченко, Е.А. Шорохова,
М.А. Сидорова, О.С. Сурма, Д.А. Шабанов

У статті описано імітаційну модель, що стала результатом спільної роботи магістрантів, аспірантів та викладачів у рамках курсу «Імітаційне моделювання стійкості та еволюції надорганізованих біосистем». У ході низки академічних занять у середовищі R було розроблено імітаційну модель «Зростання людства», яка характеризується поетапним збільшенням системної складності. Ця модель належить до категорії «моделей перевірки достатності механізмів» (моделей, що перевіряють, чи є запропоновані механізми достатніми для відтворення спостережуваної динаміки). Базова архітектура складається з моделі експоненціального зростання населення з кількома віковими класами, кожен з яких характеризується власними показниками народжуваності та смертності. На наступних етапах модель послідовно інтегрує: логістичне обмеження ємності середовища (параметр Ферхюльста); лаг-ефект ефект у реакції населення на дефіцит ресурсів (параметр Ніколсона); зменшення ємності середовища внаслідок криз перенаселення (параметр Острова Пасхи); зростання ємності середовища, зумовлене культурною еволюцією, що оптимізує спосіб життя (параметр фон Ферстера); і, нарешті, механізм демографічного переходу (параметр Ноустейна). Розглянуто структуру моделі, результати моделювання та альтернативні алгоритмічні рішення, які були запропоновані у ході спільної розробки. Автори вважають такий покроковий підхід до моделювання успішним і пропонують свій досвід для подальшого розвитку та застосування.

Ключові слова: імітаційне моделювання, чисельність людства, динаміка чисельності, стійкість, ємність середовища, лаг-ефект, гіперболічне зростання, демографічний перехід, модель перевірки достатності механізмів

Цитування: Nesterenko K.O., Holovnia D.O., Kravchenko M.O., Shorokhova E.A., Sydorova M.A., Surma O.S., Shabanov D.A. *From Malthusian trap to demographic transition: educational and research aspects of a university simulation course*. Вісник Харківського національного університету імені В.Н. Каразіна. Серія «Біологія», 2026, 46, 23–42. <https://doi.org/10.26565/2075-5457-2026-46-3>

Про авторів:

Нестеренко К.О. – Харківський національний університет імені В.Н. Каразіна, Харків, Україна, пл. Свободи, 4, 61022, rykova@karazin.ua, <https://orcid.org/0009-0003-8726-5000>

Головня Д.О. – Харківський національний університет імені В.Н. Каразіна, Харків, Україна, пл. Свободи, 4, 61022, dmytro.holovnia@karazin.ua, <https://orcid.org/0009-0005-4018-0741>

Кравченко М.О. – Харківський національний університет імені В.Н. Каразіна, Харків, Україна, пл. Свободи, 4, 61022, marinakravchenko@karazin.ua, <https://orcid.org/0000-0001-8392-7781>

Шорохова Е.А. – Харківський національний університет імені В.Н. Каразіна, Харків, Україна, пл. Свободи, 4, 61022, shorokhova2021b112@student.karazin.ua, <https://orcid.org/0009-0006-1938-865X>

Сидорова М.А. – Харківський національний університет імені В.Н. Каразіна, Харків, Україна, пл. Свободи, 4, 61022, sydorova2021b117@student.karazin.ua, <https://orcid.org/0009-0006-4176-6821>

Сурма О.С. – Харківський національний університет імені В.Н. Каразіна, Харків, Україна, пл. Свободи, 4, 61022, surma2021b117@student.karazin.ua, <https://orcid.org/0009-0006-9826-7943>

Шабанов Д.А. – Харківський національний університет імені В.Н. Каразіна, Харків, Україна, пл. Свободи, 4, 61022, shabanov@karazin.ua, <https://orcid.org/0000-0003-3247-6882>

Authors contribution: creation of the simulation model — all authors; writing the first draft of the article — K.O. Nesterenko, D.A. Shabanov; editing of the text — all authors; experimentation with the final model — D.O. Holovnia, D.A. Shabanov; proposing alternatives — E.A. Shorokhova, M.A. Sydorova, O.S. Surma; concept — M.O. Kravchenko, D.A. Shabanov. / **Внесок авторів:** створення імітаційної моделі — усі автори; написання першої версії тексту статті — К.О. Нестеренко, Д.А. Шабанов; редагування тексту — усі автори; експериментування з остаточною моделлю — Д.О. Головня, Д.А. Шабанов; пропонування альтернатив — Е.А. Шорохова, М.А. Сидорова, О.С. Сурма; концепція — М.О. Кравченко, Д.А. Шабанов.

Conflict of interest: The authors certify that although one of the authors of the article is the Editor-in-Chief of this journal, the peer-review process, the publication decision, and the editing process were conducted independently, without their participation or influence. The peer review and the final decision were carried out by other members of the editorial board who are not co- authors. Any potential conflicts of interest were fully mitigated through external oversight of the process. / **Конфлікт інтересів:** автори засвідчують, що, незважаючи на те, що один із авторів статті є головним редактором цього журналу, процес рецензування, прийняття рішення щодо публікації та редагування проводилися незалежно, без їх участі чи впливу. Рецензування, остаточне рішення ухвалювалося іншими членами редакційної колегії, які не є співавторами. Будь-які потенційні конфлікти інтересів були повністю усунені шляхом зовнішнього контролю процесу.

Use of Artificial Intelligence: The authors report that during the conduct of the study and the preparation of this manuscript, generative artificial intelligence (such as <https://claude.ai/>, etc.), under the authors' supervision, was used as a tool for writing the script in the R language, for translating text segments, and for checking the grammar of the article. All results of the use of artificial intelligence were reviewed and corrected by the authors, who assume responsibility for the final results. / **Використання штучного інтелекту:** Автори повідомляють, що під час проведення дослідження та підготовки цього рукопису генеративний штучний інтелект (<https://claude.ai/> тощо) під контролем авторів було використано як інструмент для написання тексту скрипту на мові R, для перекладу фрагментів тексту та для граматичної перевірки тексту статті. Усі результати використання штучного інтелекту контролювалися та виправлялися авторами, які приймають на себе відповідальність за кінцевий результат.

Подано до редакції: 15.01.2026 / Прорецензовано: 21.03.2026 / Прийнято до друку: 25.04.2026 / Оприлюднено: 31.05.2026

••• ПРИКЛАДНІ АСПЕКТИ РЕГУЛЯЦІЇ РОСТУ, РОЗВИТКУ ТА ПРОДУКТИВНОСТІ РОСЛИН •••
••• PRACTICAL ASPECTS OF PLANTS GROWTH REGULATION, DEVELOPMENT AND PRODUCTIVITY •••

DOI: <https://doi.org/10.26565/2075-5457-2026-46-4>
UDC: 631.46:579.64

Effect of aqueous extracts from natural sweetener-producing plants on the growth and antagonistic and phytotoxic activity of soil microorganisms

O.I. Vinnikova

This study assessed the effect of aqueous extracts from natural sweetener-producing plants — *Stevia rebaudiana* (stevia) leaves, *Glycyrrhiza glabra* (licorice) roots/rhizomes, and *Helianthus tuberosus* (Jerusalem artichoke) tubers — on the growth, antagonistic, and phytotoxic activities of soil microorganisms, including several bacterial species, micromycetes, and the green alga *Tetracystis* sp. The addition of aqueous extracts to the nutrient medium stimulated colony growth in all tested micromycetes and the bacterium *Azotobacter chroococcum*. The highest stimulatory effect was observed for extracts from stevia leaves and Jerusalem artichoke tubers. The antagonistic activity of the micromycete *Trichoderma viride* against potentially phytopathogenic fungi was enhanced during co-cultivation with aqueous extracts from all studied plants. The strongest phytotoxic effect was exerted by *Aspergillus niger* when grown on a medium supplemented with licorice root extract. Conversely, the lowest level of phytotoxicity was observed for *Fusarium oxysporum* cultivated with the addition of Jerusalem artichoke tuber extract. These findings indicate the selective and species-specific influence of aqueous extracts of the studied plants on the functional activity of the soil microbiome. This effect could be leveraged to develop biological agents aimed at optimizing cultivation conditions for natural sweetener-producing crops.

Key words: natural sweetener-producing plants, soil microorganisms, colony growth rate, antagonism, phytotoxicity

Cite this article: Vinnikova O. I. Effect of aqueous extracts from natural sweetener-producing plants on the growth and antagonistic and phytotoxic activity of soil microorganisms. *The Journal of V. N. Karazin Kharkiv National University. Series Biology*, 2026, 46, 43–53. <https://doi.org/10.26565/2075-5457-2026-46-4>

About the author:

Vinnikova O.I. – V.N. Karazin Kharkiv National University, Kharkiv, Ukraine, 4, Svobody Maidan, Kharkiv, Ukraine 61022 o.i.vinnikova@karazin.ua, <https://orcid.org/0000-0001-8632-0213>

Подано до редакції: 09.01.2026 / Прорецензовано: 26.02.2026 / Прийнято до друку: 25.05.2026 / Оприлюднено: 31.05.2026

Introduction

In recent years, there has been a growing interest in plants that produce natural sweeteners. This is driven by the increasing prevalence of metabolic diseases, particularly diabetes mellitus, necessitating the search for safe sugar substitutes. The use of natural plant-derived sweeteners is especially relevant in the production of dietary food for individuals with impaired carbohydrate metabolism, as such products are characterized by low caloric value and do not cause a significant increase in blood glucose levels (Peteliuk et al., 2021; Muñoz-Labrador et al., 2024; Patel & Navale, 2024). The most widely cultivated plants for obtaining sugar substitutes comprise various species of *Glycyrrhiza* L., *Stevia rebaudiana* Bertoni, and *Helianthus tuberosus* L. Cultivation technologies for these plants usually do not include regular crop rotations, with particularly long periods of cultivation in the same location in case of *G. glabra* — up to 6 or more years. In continuous cropping systems, active plant compounds can enter the soil environment through volatilization, root exudation, decomposition, and leaching throughout the plant growth period. The accumulation of such substances can lead to soil depletion, reduced soil fertility, and also significantly affect the soil microbiome (Yadav et al., 2011; Ren et al., 2017; Zhou et al., 2018; Xu et al., 2022; Xu et al., 2024; Wang et al., 2025; Madeo et al., 2026).

The overall chemical profile of the roots and the entire plant is, to some extent, reflected by the composition of root exudates. It is well known that root exudates are a mixture of primary metabolites — sugars, amino acids, organic acids, and secondary metabolites — flavonoids, terpenoids, phenolic

compounds, etc. According to published reports, during the cultivation of licorice, secondary metabolites such as glycyrrhizin, liquiritin, flavonoids, and triterpene saponins may accumulate in the soil. These compounds can enter the soil through root exudation and plant residues (Chen et al., 2022). Stevia plant material contains stevioside (steviol glycosides), rebaudiosides, phenolic compounds, and flavonoids, which may also be components of root exudates and plant residues (Peteliuk et al., 2021). A number of flavonoids as well as phenolic compounds have been identified in Jerusalem artichoke tubers, including chlorogenic acid, caffeoylquinic acid and its derivatives, and ethers of caffeic and quinic acids (Showkat et al., 2019). These particular biologically active compounds comprise one of the factors which cause changes in the structure of the rhizosphere microbiome and contribute to the development of monoculture effects.

In the plant–microorganism system, plants provide the formation of habitats for microorganisms and nutrient supply to the associated microbiome. In turn, plant growth and productivity are determined by the integrated activity of soil microorganisms. Specialized studies have demonstrated that metabolites present in the root exudates of medicinal and sweetener plants shape the rhizosphere microbiome (Liu et al., 2022; Qu et al., 2024). It has also been established that in the rhizosphere of perennial monocultures, the abundance of microorganisms either remains unchanged or may even increase compared to soil not cultivated with these plants. However, conversely, the species diversity and activity of the microbiome may decline and undergo substantial shifts. The microorganisms typically present in a given soil may be replaced by phytopathogens or species capable of producing compounds with phytotoxic or antibiotic effects (Zhou et al., 2017; Zhou et al., 2018; Yue et al., 2020; Liu et al., 2022; Xu et al., 2022). Disruptions to the soil microbial community structure may also lead to adverse environmental consequences, including an increased proportion of toxigenic, opportunistic pathogenic, or allergenic species able to contaminate plant raw materials. Therefore, the relevance of our study is determined by the expanding cultivation of plants that produce natural sweeteners and their widespread use in the food and pharmaceutical industries. At the same time, the specific effects of the biologically active compounds of these plants on the soil microbiome remain insufficiently understood, particularly in regard of microbial growth responses, antagonistic interactions, and phytotoxic properties.

This issue is important for assessing the ecological consequences of cultivating such plants and for the development of stable agroecosystems. In view of the above, the aim of this study was to determine the effects of aqueous extracts of natural sweetener-producing plants on the growth, antagonistic activity, and phytotoxic properties of selected soil microorganisms.

Materials and Methods

Biological material. Commercially available dried plant material of *Glycyrrhiza glabra* L. (dried roots and rhizomes) and of *Stevia rebaudiana* Bertoni. (dried leaves) was purchased from a local pharmacy and used for further analysis. Commercially available tubers of *Helianthus tuberosus* L. were purchased from a local market. Before using the Jerusalem artichoke tubers for the preparation of aqueous plant extracts, they were washed under running water, rinsed with sterile distilled water, chopped, and dried at +45°C until constant weight was achieved. In the subsequent work, aqueous extracts of the plant material were used. For this purpose, a weighed portion of the ground plant material (10 g) was extracted with 100 mL of distilled water at 80°C and shaken on a shaker for 60 minutes. The resulting aqueous extract was first filtered through paper filters and then sterilized using Millipore syringe filters with a pore diameter 0.22 µm. For the phytotoxicity study, commercial seeds of garden cress (*Lepidium sativum* L.) were used as the test culture.

Isolates of soil microorganisms used in the study were obtained from the collection of the Department of Plant and Microorganism Physiology and Biochemistry of V.N. Karazin Kharkiv National University. These included micromycetes (*Mucor hiemalis* Wehmer, *Alternaria alternata* (Fr.) Keissl., *Penicillium chrysogenum* Thom, *Trichoderma viride* Pers., *Aspergillus niger* Tiegh., and *Fusarium oxysporum* Schltdl.); bacteria (*Azotobacter chroococcum*, *Bacillus subtilis*, *Pseudomonas putida*), and the microscopic alga *Tetracystis* sp. All microorganisms were isolated from soils of agrocenoses located within the Kharkiv district. Micromycetes were cultivated on liquid or agarized nutrient medium based on unhopped wort with a reduced sugar concentration of 2.5% (experimental variant) and 5% sugar according to Balling (control). *B. subtilis* and *P. putida* were cultivated on meat-peptone agar, *A. chroococcum* — on Ashby's medium, and *Tetracystis* sp. — on solid Bold's medium (Bischoff & Bold, 1963; Atlas, 2010). Fungi were grown in a thermostat at 22±1°C, azotobacter — at 28°C, other bacteria — at 36°C, algae — in a vegetation chamber at 23±2°C under natural illumination.

Study design. To explore the effect of aqueous extracts of plants producing natural sweeteners on the growth and antagonistic properties of individual representatives of soil microorganisms, the obtained aqueous extract from the plant material was cooled to 40°C and 1 ml was added to sterile Petri dishes. In the control variant, the extracts were replaced with an equal volume of sterile distilled water. Then, 20 ml of molten nutrient media were poured into the Petri dishes.

Microscopic fungi were inoculated into Petri dishes using the stab method, while in experiments with bacteria and algae, cell suspensions at concentration about 10⁶ CFU/ml were prepared. Bacteria and algae were inoculated onto agar plates using a Drigalski spatula. The inoculated Petri dishes were placed in thermostats or a vegetation chamber.

Observations of microorganism development were carried out over 2–10 days, with recording of the number of colonies during 2–3 days (bacteria) and 2–3–8 days (algae). The diameter of micromycete colonies was also measured over 10 days, starting from the day of growth initiation, and the day of sporulation onset was noted.

The linear growth rate of micromycete colonies was calculated using the formula:

$$K_r = \frac{R_t - R_0}{t - t_0},$$

where R_t — colony radius at time t , R_0 — colony radius at time t_0 .

The study of the antagonistic activity of micromycetes was carried out using the double agar plate method, with the following pairs of micromycetes: *T. viride* and *A. alternata*; *T. viride* and *A. niger*; *T. viride* and *F. oxysporum*. The Petri dishes were incubated in a thermostat at 22±1°C for 4 days. The assessment of culture reactions of fungal interactions was performed visually using the Jackson and Carl scale (Flanagan, 1978).

The study of the phytotoxicity of potentially phytopathogenic isolates of micromycetes *A. niger*, *A. alternata*, and *F. oxysporum* was conducted using the bioassay method with *L. sativum* seeds (Modern methods in allelopathic research, 2021). For this purpose, the micromycetes were cultivated on liquid nutrient medium supplemented with aqueous plant extracts in 10% of the medium volume. The phytotoxic effect was determined using the formula:

$$F_e = \frac{L_c - L_x}{L_c} \times 100 \%,$$

where L_c — length of the control plant seedling, L_x — length of the seedling of the tested plant.

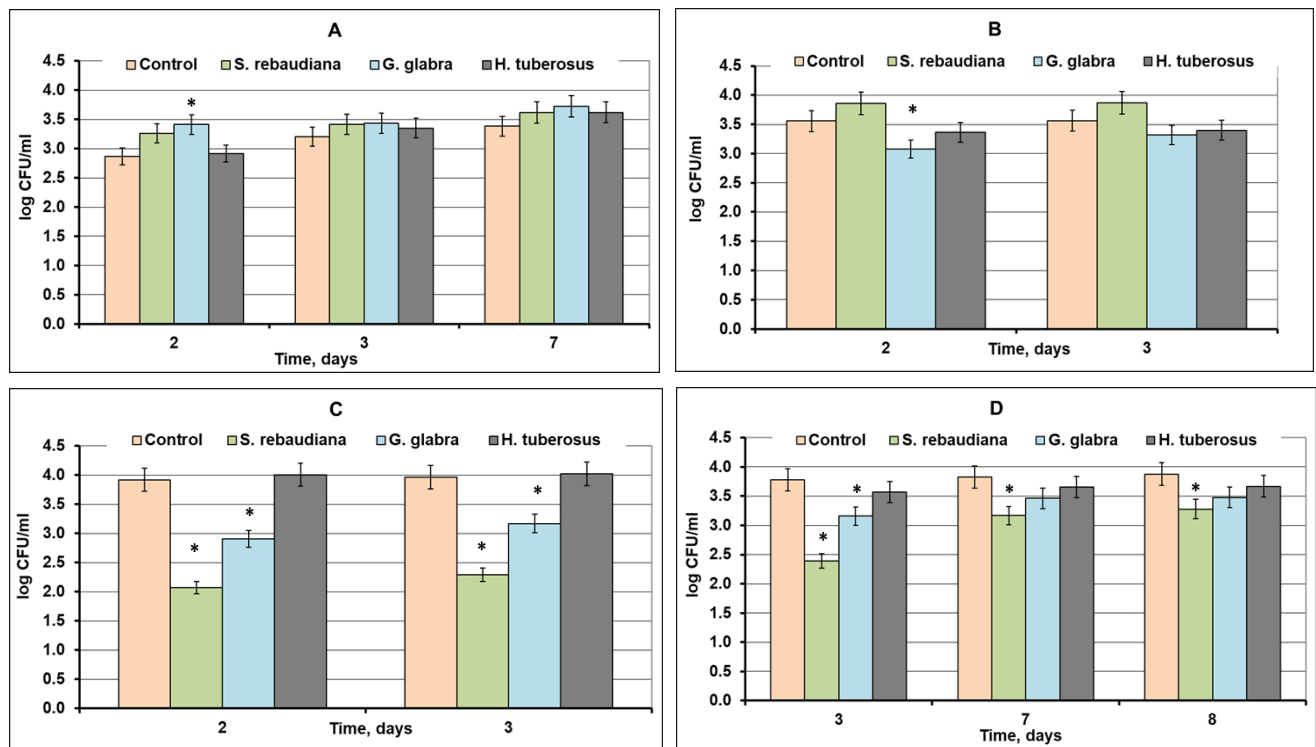
Statistical analysis. The parameters were measured in three parallel replicates of each series; the results were combined and averaged. The entire experiment was repeated twice. The means obtained in two experiments were pooled, and their overall mean and its standard error (SE) were calculated using the built-in option of the Microsoft Excel™ software package. Mean values were compared between experimental series using the Tukey test, considering the difference to be significant at $p \leq 0,05$.

Results and Discussion

Today, natural sweeteners are widely used in dietary nutrition and medicine. Their sources are metabolites with a sweet taste that accumulate in various parts of plants. In terms of chemical composition, these metabolites include either sugar-rich primary metabolites other than glucose or, more commonly, secondary metabolites such as glycosides. These compounds may be released as exometabolites and accumulate in the soil in the form of «rhizodeposits».

The use of monoculture practices and the incorporation of post-harvest residues during the cultivation of such plants lead to the accumulation of substantial amounts of sugar-rich metabolites in the soil. Under these conditions, significant changes may occur in the composition of the soil microbiome, accompanied by a decline in plant productivity. Numerous studies have demonstrated the effects of sweetener plant monocultures on soil microorganisms, as well as the role of microorganisms in enhancing plant tolerance to stress (Chen et al., 2022; Sun et al., 2022; Shao et al., 2025; Ullah et al., 2025). Investigating the effects of sweetener plant metabolites on the components of biogeocenoses is also important, since plants and their microbiome form an interconnected system with reciprocal interactions.

Moreover, the interactions between plants, microbiome and soil, being mediated through plant rhizodeposits, constitute the basis for the restoration of soil structure and maintaining of soil fertility.



Note: * — difference is significant in compare to the control, $p \leq 0.05$

Fig. 1. The effect of aqueous extracts of sweetener-producing plants on the abundance of soil bacteria and algae: A — *Azotobacter chroococcum*, B — *Bacillus subtilis*, C — *Pseudomonas putida*, D — *Tetracystis sp.*

In the framework of current study, the effect of aqueous extracts from the aboveground (herb) or underground parts of sweetener-producing plants on the growth, antagonistic, and phytotoxic properties of common representatives of biogeocenoses — namely, microorganisms of the auto- and heterotrophic blocks — was investigated. The effects of aqueous extracts from plant raw materials on the population dynamics of bacteria and algae grown on the corresponding nutrient media supplemented with aqueous extracts of sweetener plants are presented in Fig. 1A–1D. The addition of aqueous extracts from stevia and licorice plant material to the nutrient medium stimulated the development of the nitrogen-fixing bacterium *A. chroococcum* only on the second day of observation. Subsequently, this effect was not sustained, and the bacterial counts in the experimental variants were slightly, but not significantly, higher than in the control (Fig. 1A).

In the experiment with the spore-forming bacterium *B. subtilis*, no stimulation effect was observed after the addition of aqueous extracts from any of three plant species to the nutrient medium. Instead, a significant decrease in the number of CFU/ml was recorded on the second day in the variant with the licorice extract (Fig. 1B).

A different effect occurred in the experiment with the non-spore-forming soil bacterium *P. putida*. The addition of aqueous extracts from stevia herb and licorice rhizomes caused a significant decrease in the number of CFU/ml compared to the control. However, no such effect was observed when the Jerusalem artichoke tuber extract was added (Fig. 1C).

Regarding the influence of metabolites from sweetener plants on the development of the autotrophic representative of the soil microbiome — the green alga *Tetracystis sp.* — a significant decrease in CFU/ml compared to the control took place throughout the entire observation period in the variants with stevia and licorice extracts. A less pronounced, but still noticeable, decrease in the number of colonies was caused

by the Jerusalem artichoke extract (Fig. 1D). However, it was noted that the algae colonies grown on nutrient media supplemented with aqueous extracts had a larger diameter compared to the control. This suggests that there may have been an increase in biomass rather than in the number of cells.

Thus, a certain antibacterial effect from the addition of aqueous extracts of sweetener-producing plants was observed when using stevia herb and licorice rhizomes in the variants with *B. subtilis*, *P. putida*, and the green alga *Tetracystis* sp. The antibacterial effect of extracts from stevia herb, licorice roots, and rhizomes has also been demonstrated by other authors (Wahab et al., 2021; Chakma et al., 2023; Chen et al., 2024). The antifungal and antibacterial efficacy of the active components of Jerusalem artichoke tubers has also been noted (Showkat et al., 2019; Tapera et al., 2024). However, no such effect was observed in our study. This may be explained by the fact that the antibiotic and antifungal activity depends on the concentration of active compounds in the tubers. In turn, the content and concentration of these substances are influenced by the cultivar, agronomic cultivation conditions, soil chemical composition, microbiome activity, and storage conditions of the plant material itself.

The *A. chroococcum* isolate used in this study proved to be insensitive to the antibiotic effects of the active components present in aqueous extracts of sweetener-producing plants (Fig. 1A). The resistance of *Azotobacter* species to various environmental factors, including plant-derived antibiotic compounds, has also been reported in other studies. The insensitivity of these bacteria to plant-derived antibacterial substances (phytoncides and phenolic compounds) may be associated with a combination of evolutionary defense mechanisms, specific metabolic features, and their adaptive capacity within the rhizosphere. These mechanisms include cyst formation, high metabolic activity, synthesis of antioxidants and enzymes, and siderophore production (Nongthombam et al., 2021; Shahid & Khan, 2022).

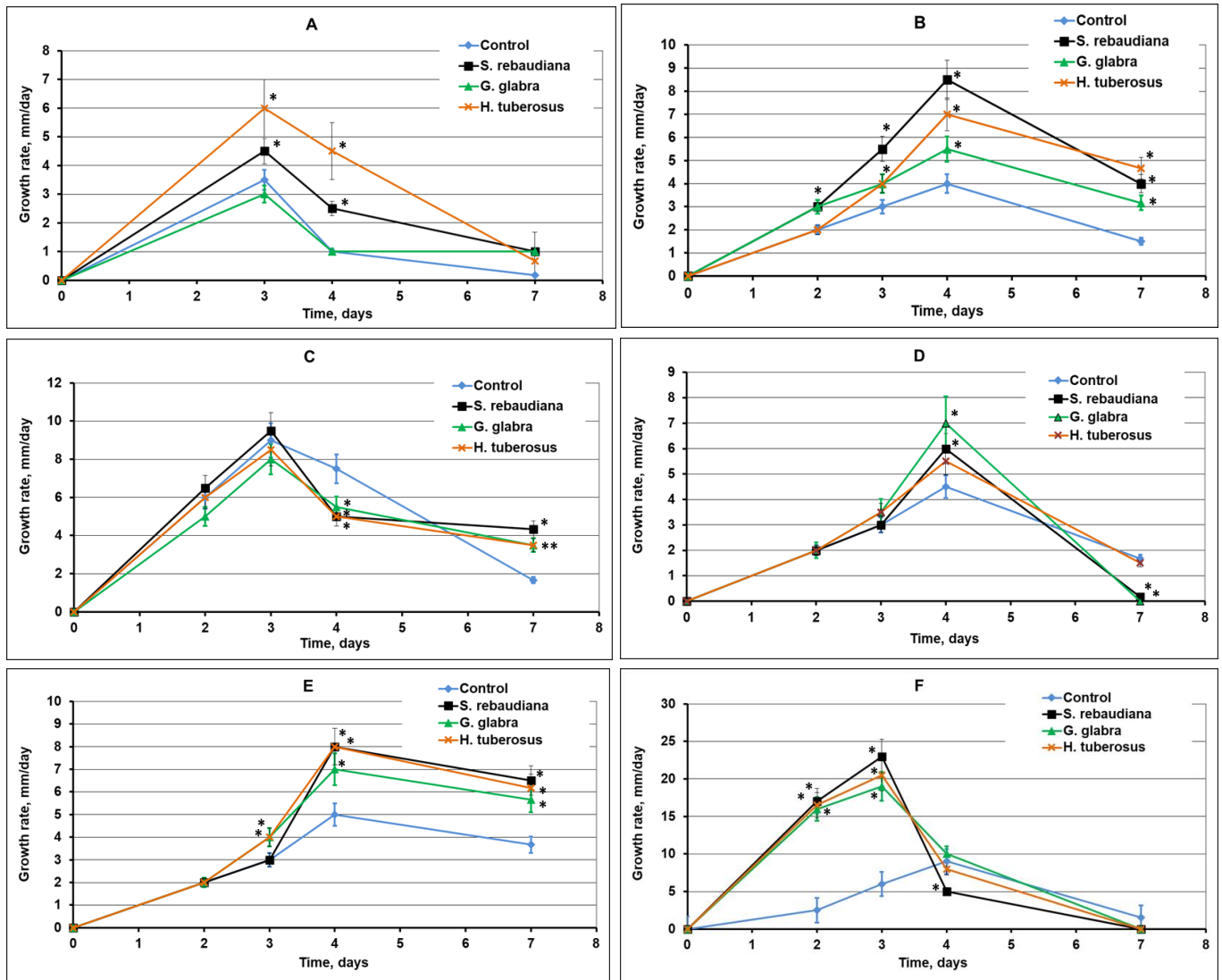
Thus, diverse microbial responses to the addition of aqueous extracts of sweetener-producing plants to the cultivation medium were observed. Such effects may be associated both with the physiological characteristics of representatives of the heterotrophic (bacteria) and autotrophic (algae) components of the soil microbiome, as well as with differences in the metabolite composition of aqueous extracts obtained from different plant species. Indeed, apart from their “sugar” component, metabolites of sweetener-producing plants may also contain a variety of other biologically active compounds.

Another type of response to the added sugar in the culture medium was expected in experiments with soil micromycetes. It is well known that the availability of accessible sugars in sufficient amounts is a factor that significantly affects both the growth rate and the qualitative composition of micromycetes in the environment (Reischke et al., 2014). The dynamics of the growth rate of micromycete colonies under the influence of plant extracts added to the nutrient medium are presented in Fig. 2A–2F.

Compared to the control, a significant decrease in the growth rate of micromycetes under the influence of plant extracts was observed in the following experimental variants: with *A. niger* on the 4th day, if any extract was added (Fig. 2C), *M. hiemalis* on the 7th day, in the presence of stevia and licorice extracts (Fig. 2D), and *T. viride* on the 4th day, when stevia extract was added (Fig. 2F). The expected increase in the growth rate of micromycete colonies in the presence of aqueous extracts of plant material was observed in all series of the experiment. Moreover, the growth rate of the fungi increased mainly on days 2–4, while on day 7 the stimulation effect slightly decreased. This can be explained by the depletion of the added sugars contained in the plant extracts. However, in case of potentially phytopathogenic micromycete species (*A. alternata*, *A. niger*, and *F. oxysporum*), the growth rate in the presence of plant extracts remained significantly higher than in the control even on the 7th day (Fig. 2B, 2C, 2E). In contrast, the micromycete *T. viride*, which is a known antagonist of phytopathogens, showed a decrease in growth rate to the control level by the 7th day of cultivation in presence of plant extracts.

The representative of fast-growing sugar-utilizing zygomycetes, *M. hiemalis*, demonstrated a significant increase in colony growth rate on the 4th day of cultivation compared to the control in the presence of stevia and licorice extracts. The addition of the aqueous extract from Jerusalem artichoke tubers had no significant effect on the development of colonies of this micromycete throughout the entire observation period (Fig. 2D).

Thus, the results of the study showed that the addition of aqueous extracts of sweetener-producing plants to the nutrient medium predominantly stimulated the growth of micromycete colonies, but at different times and to varying degrees. The decrease in growth rate observed in some cases may be associated with the presence of phenolic compounds in the plant extracts, which can have antimicrobial properties. In contrast to other reports (Showkat et al., 2019), no antimycotic effect of the Jerusalem artichoke extract was observed in our study. A possible explanation for these results is presented above.



Note: * — difference is significant in compare to the control, $p \leq 0.05$

Fig. 2. The growth rate of micromycete colonies under the influence of extracts from sweetener-producing plants: A — *Penicillium chrysogenum*, B — *Alternaria alternata*, C — *Aspergillus niger*, D — *Mucor hiemalis*, E — *Fusarium oxysporum*, F — *Trichoderma viride*.

At the next stage, the extracts obtained from sweetener-producing plants were tested against the phytotoxicity of potentially phytopathogenic micromycetes — *A. alternata*, *A. niger*, and *F. oxysporum*. The effects of the culture liquid from these micromycetes grown in media supplemented with aforementioned extracts on the germination and seedling length of the test plant are presented in Figs. 3 and 4. The addition of sweetener plant extracts to the cultivation medium enhanced the phytotoxic properties of *A. niger* and *A. alternata*, while no effect on the phytotoxicity of *F. oxysporum* was observed.

By the garden cress seed germination test, the most pronounced phytotoxic effect was exerted by the culture liquid of *A. niger* cultivated in the presence of stevia leaves extract, with a 1.3-fold difference compared to the control. The phytotoxicity of *A. alternata* was also enhanced under the influence of licorice and Jerusalem artichoke extracts, likewise by 1.3-fold (Fig. 3).

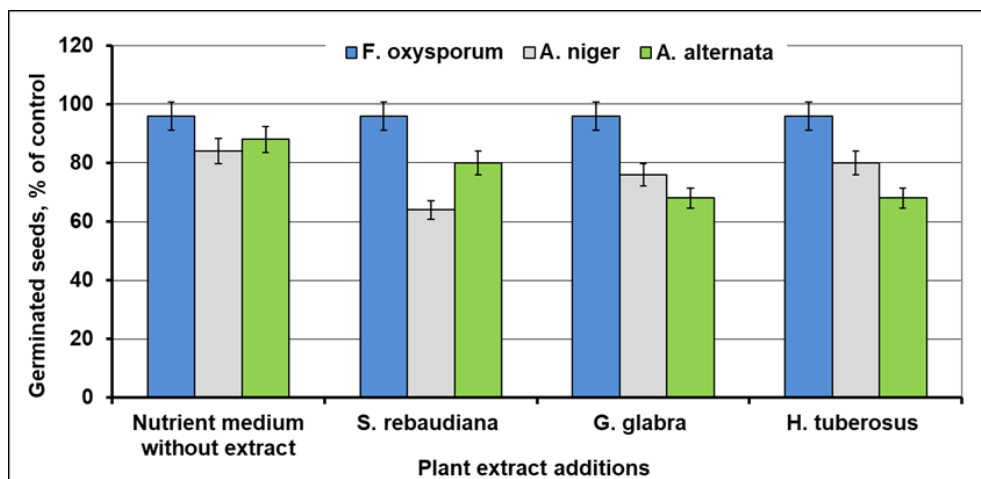


Fig. 3. The effect of extracts from sweetener-producing plants on the phytotoxicity of *Alternaria alternata*, *Aspergillus niger* and *Fusarium oxysporum* by the garden cress seeds germination test.

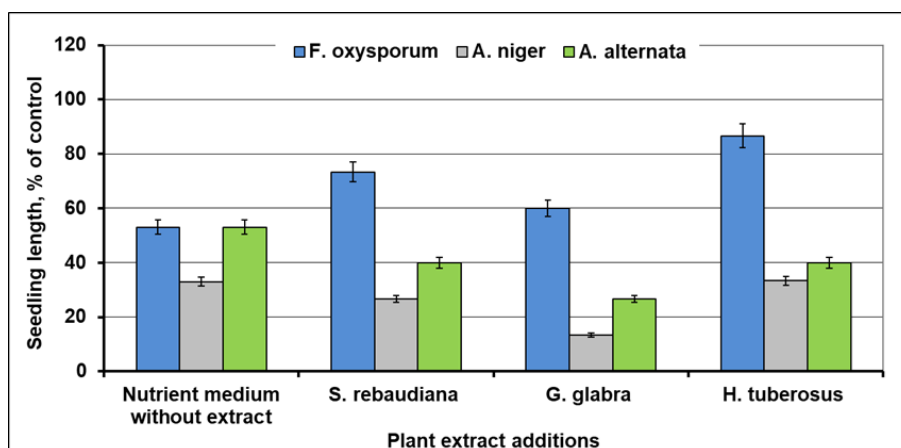


Fig. 4. The influence of extracts from sweetener-producing plants on the phytotoxicity of *Alternaria alternata*, *Aspergillus niger* and *Fusarium oxysporum* by the garden cress seedlings length test

Measurements of the length of garden cress seedlings exposed to the culture liquids of micromycetes cultivated with the addition of sweetener plant extracts revealed no phytotoxic effect in the *F. oxysporum* treatment. In experiments involving other micromycetes, the average seedling length of the test plants was lower in nearly all experimental series compared with the control variants in which the fungi were cultivated without the addition of extracts (Fig. 4). Notably, the addition of licorice extract to the cultivation medium resulted in the strongest phytotoxic effect for all three micromycetes tested, as evidenced by the shortest mean length of seedlings. Thus, licorice metabolites may enhance the phytotoxic properties of the potentially phytopathogenic micromycetes. Accordingly, the accumulation of such metabolites in the soil may increase the activity of phytopathogens, thereby negatively affecting plant growth and development.

The use of fungi of the genus *Trichoderma* as biocontrol agents against phytopathogens in agroecosystems is a widespread practice worldwide (Guzmán-Guzmán et al., 2023). Biopreparations based on monocultures of various strains are used, or they are applied as part of complex preparations. When this micromycete is introduced into the soil, it enters a complex multicomponent environment. This environment contains a large variety of organic substances (products of plant, soil animal, and microorganism metabolism), and diverse interactions occur between the participants of the biogeocenosis. Therefore, the activity of a particular strain can be modified by environmental factors.

In this regard, studying the beneficial properties of microorganisms under conditions simulating various forms of interaction between participants of biogeocenosis has certain practical value. Table 1

presents the results of the assessment of the antagonistic activity of the *T. viride* isolate against potentially phytopathogenic fungi under co-cultivation of colonies on media supplemented with extracts of sweetener-producing plants. A certain effect of the added sugars and other metabolites from aqueous plant extracts on the antagonistic properties of these micromycete isolates is apparent.

Table 1. Antagonistic properties of micromycetes when cultivated on media supplemented with extracts of sweetener-producing plant material: scores according to the Jackson and Carl scale*

Name of micromycetes	Source of the extract			
	Control (no extract in nutrient medium)	<i>Stevia rebaudiana</i>	<i>Glycyrrhiza glabra</i>	<i>Helianthus tuberosus</i>
<i>Trichoderma viride</i>	4-5	5	4.5	4.5
<i>Fusarium oxysporum</i>	2	4	3	3
<i>Aspergillus niger</i>	3	2.5	1.5	3.5
<i>Alternaria alternata</i>	2.5	1	1	1

Note: * — 1 point is the minimum value, 5 points is the maximum

In general, the addition of extract from any of the plants to the culture medium enhanced the activity of *Trichoderma* against *A. alternata*. In the experiment with *F. oxysporum*, the opposite effect was observed, particularly if stevia extract was added. The isolate of *A. niger* demonstrated the most diverse antagonistic activity: its activity increased in presence of Jerusalem artichoke extract, but decreased under the influence of the licorice extract.

Among micromycetes used in the study, *A. alternata* consistently showed the slowest growth. Such a growth strategy explains the most significant decrease in the antagonistic activity of *Alternaria* compared to the fast-growing *T. viride*. The addition of readily available sugars to the medium stimulated the growth of *Trichoderma*, thereby creating conditions of readily available carbon deficiency for the other species. This assumption may also be valid for another potential phytopathogen — *F. oxysporum*, since this species, like *T. viride*, is fast-growing.

Table 2. Phytotoxic effect of micromycetes (potential phytopathogens) under cultivation on medium supplemented with extracts of sweetener-producing plants, %

Name of micromycetes	Source of the extract			
	Control (no extract in nutrient medium)	<i>Stevia rebaudiana</i>	<i>Glycyrrhiza glabra</i>	<i>Helianthus tuberosus</i>
<i>Fusarium oxysporum</i>	47	27	40	13
<i>Aspergillus niger</i>	67	73	87	67
<i>Alternaria alternata</i>	47	60	73	60

Therefore, the different effects of plant extracts observed in the study may be associated both with the physiological and biochemical characteristics of the particular micromycete species, as well as with the varying content of sugars, phenolic compounds, and flavonoids in the extracts.

The estimates of the phytotoxic effect of micromycetes cultivated on media supplemented with extracts of sweetener plant material is presented in Table 2. The isolate *A. niger* appeared to be the most phytotoxic, especially when cultivated with the addition of licorice extract. Meanwhile, the *F. oxysporum* isolate demonstrated the lowest phytotoxic properties, particularly when cultivated on medium supplemented with Jerusalem artichoke tuber extract.

Conclusions

Aqueous extracts from the raw materials of three sweetener-producing plant species — stevia, licorice, and Jerusalem artichoke — exhibited variable, object-specific effects on the growth of soil bacteria, algae, and micromycetes.

In bacterial cultures, the most pronounced effect was the modification of *A. chroococcum* abundance, which was initially stimulated by licorice and stevia extracts. Conversely, none of the extracts stimulated *B.*

subtilis or *P. putida*; instead, licorice extract significantly suppressed *B. subtilis* growth, and both stevia and licorice extracts inhibited *P. putida*.

For the green alga *Tetracystis* sp., the extracts suppressed overall colony counts but induced an increase in individual colony diameter, suggesting a shift toward biomass accumulation rather than cell division.

Micromycetes colony growth rates were predominantly accelerated by Jerusalem artichoke and stevia extracts during the initial stages (days 2–4), whereas licorice extract inhibited the growth of *A. niger* and *P. chrysogenum*. The dynamics of *T. viride* growth on all sweeteners showed the highest increase in colonies already on the third day, whereas in the control (without sweeteners) this occurred only on the fourth day of cultivation.

In bioassays, the culture liquid of *A. niger* grown with licorice extract displayed the highest phytotoxicity (reducing garden cress seedling length), while the lowest phytotoxicity was observed for *F. oxysporum* cultivated with Jerusalem artichoke extract. Furthermore, the addition of plant extracts enhanced the antagonistic potential of *T. viride* against *A. alternata* but reduced its efficacy against *F. oxysporum*.

Therefore, the growing demand for natural sweeteners highlights the importance of studying interactions between these plants and soil microorganisms. Investigating the effects of their aqueous extracts on bacteria and micromycetes allows assessment of their potential role in shaping microbial communities, regulating soil microbiological activity, and influencing the phytosanitary condition of agroecosystems. Consequently, the selective modulation of soil microbial activity by compounds from sweetener-producing plants should be taken into account when designing continuous cropping systems and developing targeted bioformulations to optimize crop performance.

References

- Сучасні методи в аллопатичних дослідженнях. Методичний посібник. За заг. ред. чл.-кор. НАН України, професора Н.В. Заїменко. Київ : Видавництво Ліра-К, 2021. 200 с. (Modern methods in allelopathic research. [Methodical manual. (Editor in Chief: Corresponding Member of NAS of Ukraine, Professor Zaimenko N.V.) Kyiv : Publishing Lira-K, 2021. 200 p.] (In Ukrainian)
- Atlas R. M. (2010). *Handbook of microbiological media* (4th ed.). CRC Press. 2043 p.
- Bischoff H. W., Bold H. C. (1963). *Some soil algae from Enchanted Rock and related algal species* (No. 6318). University of Texas Publication. 95 p.
- Chakma A., Hossain M. A., Rahman M. M., Islam M. T., Uddin M. J., Rahman M. S. (2023). Effects of extraction techniques on antioxidant and antibacterial activity of stevia (*Stevia rebaudiana* Bertoni) leaf extracts. *Food Chemistry Advances*, 3, 100494. <https://doi.org/10.1016/j.focha.2023.100494>
- Chen C., Zhong C., Gao X., Tan C., Bai H., Ning K. (2022). *Glycyrrhiza uralensis* Fisch. root-associated microbiota: The multifaceted hubs associated with environmental factors, growth status and accumulation of secondary metabolites. *Environmental Microbiome*, 17(1), 23. <https://doi.org/10.1186/s40793-022-00418-0>
- Chen R. Y., Yu D., Wang Y. Q., Li C. X., Zhang R. Q., Wang X. Y., Chen H. S. (2024). The state-of-the-art antibacterial activities of glycyrrhizin: A comprehensive review. *Microorganisms*, 12(6), 1155. <https://doi.org/10.3390/microorganisms12061155>
- Flanagan P. W. (1978). Microbial ecology and decomposition in Arctic tundra and subarctic taiga ecosystem. In *Microbial ecology*. Berlin. P. 161-168.
- Guzmán-Guzmán P., Porras-Troncoso M. D., Olmedo-Monfil V., Herrera-Estrella, A. (2023). *Trichoderma* species: Our best fungal allies in the biocontrol of plant diseases—A review. *Plants*, 12(3), 432. <https://doi.org/10.3390/plants12030432>
- Liu Y., Zhang H., Chen J., Li W., Wang Y., Zhang Y. (2022). Regulation of soil micro-foodwebs to root secondary metabolites in cultivated and wild licorice plants. *Science of the Total Environment*, 828, 154302. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.154302>
- Madeo L., Panzera Y., Bruno L., Sicari V. (2026). Licorice (*Glycyrrhiza glabra*): Botanical aspects, multisectoral applications, and valorization of industrial waste for the recovery of natural fiber in a circular economy perspective. *Fibers*, 14(1), 14. <https://doi.org/10.3390/fib14010014>
- Muñoz-Labrador A., Hernandez-Hernandez O., Moreno F. J. (2024). A review of the state of sweeteners science: The natural versus artificial non-caloric sweeteners debate. *Stevia rebaudiana* and *Siraitia grosvenorii* into the spotlight. *Critical Reviews in Biotechnology*, 44(6), 1080–1102. <https://doi.org/10.1080/07388551.2023.2254929>
- Nongthombam J., Devi N. A., Singh P. K., Devi H. S. (2021). *Azotobacter*: A complete review. *Bulletin of Environment, Pharmacology and Life Sciences*, 10(6), 72–79.

- Pate, S., Navale A. (2024). The natural sweetener stevia: An updated review on its phytochemistry, health benefits, and anti-diabetic study. *Current Diabetes Reviews*, 20(2), 26–36. <https://doi.org/10.2174/1573399819666230501210803>
- Peteliuk V., Rybchuk L., Bayliak M., Storey K. B., Lushchak O. (2021). Natural sweetener *Stevia rebaudiana*: Functionalities, health benefits and potential risks. *EXCLI Journal*, 20, 1412–1430. <https://doi.org/10.17179/excli2021-4211>
- Qu P., Wang B., Qi M., Lin R., Chen H., Xie C., Liu Q., Zhang G., Ge Y. (2024). Medicinal plant root exudate metabolites shape the rhizosphere microbiota. *International Journal of Molecular Sciences*, 25(14), 7786
- Reischke S., Rousk J., Bååth E. (2014). The effects of glucose loading rates on bacterial and fungal growth in soil. *Soil Biology and Biochemistry*, 70, 88–95. <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2013.12.011>
- Ren X., Zhu Y., Xie C., Li X., Wen L., Qin L. (2017). Allelochemicals from rhizosphere soils of *Glycyrrhiza uralensis* Fisch: Discovery of the autotoxic compounds of a traditional herbal medicine. *Industrial Crops and Products*, 97, 302–307. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2016.12.035>
- Shahid M., Khan M. S. (2022). Tolerance of pesticides and antibiotics among beneficial soil microbes recovered from contaminated rhizosphere of edible crops. *Current Research in Microbial Sciences*, 3, 100091. <https://doi.org/10.1016/j.crmicr.2021.100091>
- Shao T., Zhang Z., Liu T., Li Y., Wang X., Chen, M. (2025). Rhizosphere remediation of saline-alkali soils by *Helianthus tuberosus*: Linking microbial-metabolite synergies to carbon sequestration. *Science of the Total Environment*, 1002, 180533. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2025.180533>
- Showkat M. M., Falck-Ytter A. B., Strætkevæn K. O. (2019). Phenolic acids in Jerusalem artichoke (*Helianthus tuberosus* L.): Plant organ dependent antioxidant activity and optimized extraction from leaves. *Molecules*, 24(18), 3296. <https://doi.org/10.3390/molecules24183296>
- Sun Y., Li X., Wang C., Zhang H., Liu X., Zhao T. (2022). The recruitment of specific rhizospheric bacteria facilitates *Stevia rebaudiana* salivation under nitrogen and/or water deficit stresses. *Industrial Crops and Products*, 187, 115434. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2022.115434>
- Tapera R. F., Moyo P., Mukanganyama S., Mduluzza T. (2024). Exploring the therapeutic potential, ethnomedicinal values, and phytochemistry of *Helianthus tuberosus* L.: A review. *Pharmaceuticals*, 17(12), 1672. <https://doi.org/10.3390/ph17121672>
- Ullah I., Khan N., Ahmad S., Rahman U. U., Ali J. (2025). Unveiling the adaptation mechanisms of symbiotic microbial communities in *Glycyrrhiza glabra* under extreme environmental conditions. *Journal of Applied Microbiology*, 136(12), 1xaf291. <https://doi.org/10.3390/plants10122751>
- Wahab S., Annadurai S., Abullais S. S., Das G., Ahmad W., Ahmad, M. F., Kandasamy G., Vasudevan R., Amir M. (2021). *Glycyrrhiza glabra* (Licorice): A comprehensive review on its phytochemistry, biological activities, clinical evidence and toxicology. *Plants*, 10(12), 2751. <https://doi.org/10.3390/plants10122751>
- Wang L., Zhang Y., Chen X., Liu H., Zhao Y., Li J. (2025). *Stevia rebaudiana* Bertoni as a sweet herbal medicine: Traditional uses, potential applications, and future development. *Frontiers in Pharmacology*, 16, 1638147. <https://doi.org/10.3389/fphar.2025.1638147>
- Xu X., Luo Q., Wei Q., Jiang S., Dong C., Faruque M. O., Hu X. (2024). Sandy loam soil maintains better physicochemical parameters and more abundant beneficial microbiomes than clay soil in *Stevia rebaudiana* cultivation. *PeerJ*, 12, e18010. <https://doi.org/10.7717/peerj.18010>
- Xu X., Luo Q., Wei Q., Jiang S., Dong C., Faruque M. O., Hu X. (2022). The deterioration of agronomical traits of the continuous cropping of stevia is associated with the dynamics of soil bacterial community. *Frontiers in Microbiology*, 13, 917000. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2022.917000>
- Yadav A. K., Singh S., Dhyani D., Ahuja P. S. (2011). A review on the improvement of stevia [*Stevia rebaudiana* (Bertoni)]. *Canadian Journal of Plant Science*, 91(1), 1–27. <https://doi.org/10.4141/cjps10086>
- Yue Y., Shao T., Long X., He T., Gao X., Zhou Z., Liu Z. (2020). Microbiome structure and function in rhizosphere of Jerusalem artichoke grown in saline land. *Science of the Total Environment*, 724, 138259. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.138259>
- Zhou X., Wang Z., Jia H., Li L., Wu F. (2017). Conversion from long-term cultivated wheat field to Jerusalem artichoke plantation changed soil fungal communities. *Scientific Reports*, 7(1), 41502. <https://doi.org/10.1038/srep41502>
- Zhou X., Wang Z., Jia H., Li L., Wu F. (2018). Continuously monocropped Jerusalem artichoke changed soil bacterial community composition and ammonia-oxidizing and denitrifying bacteria abundances. *Frontiers in Microbiology*, 9, 705. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2018.00705>

Вплив водних екстрактів рослин-продуцентів натуральних підсолоджувачів на ріст, антагоністичну та фітотоксичну активність ґрунтових мікроорганізмів

О.І. Віннікова

Досліджено вплив водних екстрактів рослин-продуцентів натуральних підсолоджувачів — *Stevia rebaudiana* (стевія), *Glycyrrhiza glabra* (солодка) та *Helianthus tuberosus* (топінамбур) на ріст, антагоністичну і фітотоксичну активність ґрунтових мікроорганізмів (окремих представників бактерій, мікроміцетів та зеленої водорості *Tetracystis sp.*). Встановлено, що внесення водних екстрактів у поживне середовище стимулювало ріст колоній усіх досліджуваних мікроміцетів та бактерії *Azotobacter chroococcum*. Найвищий стимулюючий ефект спостерігався за додавання екстрактів з листків стевії та бульб топінамбуру. Антагоністична активність мікроміцета *Trichoderma viride* щодо потенційно фітопатогенних грибів була більш вираженою за умови культивування з водними екстрактами всіх досліджуваних рослин. Найсильніший фітотоксичний ефект проявляв *Aspergillus niger* за культивування на середовищі з екстрактом листя солодки. Водночас найнижчий рівень фітотоксичності зафіксовано у *Fusarium oxysporum* за вирощування із додаванням екстракту бульб топінамбуру. Отримані результати свідчать про селективний і видоспецифічний характер впливу водних екстрактів досліджуваних рослин на функціональну активність ґрунтового мікробіому, що може бути використано для розробки біологічних засобів, які покращать умови вирощування рослин-продуцентів натуральних підсолоджувачів.

Ключові слова: рослини-продуценти підсолоджувачів, ґрунтові мікроорганізми, швидкість росту колоній, антагонізм, фітотоксичність

Цитування: Vinnikova O. I. Effect of aqueous extracts from natural sweetener-producing plants on the growth and antagonistic and phytotoxic activity of soil microorganisms. Вісник Харківського національного університету імені В.Н. Каразіна. Серія «Біологія», 2026, 46, 43–53. <https://doi.org/10.26565/2075-5457-2026-46-4>

Про автора:

Віннікова О.І. – Харківський національний університет імені В. Н. Каразіна, майдан Свободи, 4, Харків, 61022, Україна, o.i.vinnikova@karazin.ua, <https://orcid.org/0000-0001-8632-0213>

Use of Artificial Intelligence: The authors certify that no generative artificial intelligence tools were used in the conduct of the research or in the preparation of this manuscript. / **Використання штучного інтелекту:** Автори засвідчують, що під час проведення дослідження та підготовки цього рукопису генеративний штучний інтелект не використовувався.

Received: 09.01.2026 / Revised: 26.02.2026 / Accepted: 25.05.2026 / Published: 31.05.2026

••• ПРИРОДНИЧІ МУЗЕЇ, КОЛЕКЦІЇ ТА МУЗЕЙНІ ПРАКТИКИ •••
••• NATURAL HISTORY MUSEUMS, COLLECTIONS AND MUSEUM PRACTICES •••

DOI: <https://doi.org/10.26565/2075-5457-2026-46-5>
УДК: 929Співаков:[59:069](477)

Феномен Олега Співакова — таксидерміста, художника, музейника
К. Грінінг-Гера, І. Загороднюк

Олег Борисович Співаков — один із найвизначніших українських таксидермістів кінця ХХ — початку ХХІ століття, художник та музейник. На основі біографічних даних та аналізу музейних колекцій висвітлено формування його унікального авторського стилю, що поєднує наукову точність із високою художньою майстерністю. Випускник Таврійського університету, Олег Борисович присвятив своє життя розвитку природничих музеїв: спочатку відновленню музею історії та природи Карадагу на Карадазькій біостанції з 1982 по 2008 рік, а згодом — у Зоологічному музеї Київського національного університету імені Тараса Шевченка (2009–2021). Майстер віртуозно володів техніками виготовлення таксидермічних скульптур різноманітних систематичних груп — від риб і земноводних до птахів та ссавців, а його роботи нині прикрашають державні та приватні колекції, кількість яких незліченна. Детально проаналізовано «кримський період» діяльності Олега Борисовича, ключовим досягненням якого стало відродження музею історії та природи Карадагу. (Фактично це було створення «з нуля», оскільки експонатів зі старої експозиції не залишилось взагалі). Описано новаторський підхід до побудови експозиції за біотопним принципом, де автором було створено понад 400 експонатів, що охоплюють близько 200 видів хребетних тварин. Окрім того, Олег Співаков вніс вагомий внесок у вивчення фауни Криму, зокрема реєстрації рідкісних видів птахів та ссавців, які увійшли до наукового обігу. Особливу увагу приділено «київському періоду», що відзначився створенням таксидермічних скульптур риб, амфібій та ссавців. Також, охарактеризовано його роль у реставрації старих колекційних експонатів в експозиції ЗМКУ. Творчий доробок Олега Співакова у таксидермії є значним внеском у вітчизняну музеологію, зокрема в частині формування та відновлення зоологічних експозицій. Його спадщина не обмежується лише музейними залами: роботи майстра складають вагомий частину численних приватних колекцій, де вони цінуються як унікальні зразки мистецтва. Праці майстра відзначаються надзвичайно високим художнім рівнем, що фактично надає їм статусу творів мистецтва.

Ключові слова: таксидермія, зоологічні музеї, Київський університет, Карадазька біостанція, Україна

Цитування: Грінінг-Гера К., Загороднюк І. Феномен Олега Співакова — таксидерміста, художника, музейника. *Вісник Харківського національного університету імені В.Н. Каразіна. Серія «Біологія»*, 2026, 46, 54–69. <https://doi.org/10.26565/2075-5457-2026-46-5>

Про авторів:

Грінінг-Гера К. — Національний університет харчових технологій; вул. Володимирська 68, Київ, Україна, 01033, neackriss@gmail.com; <https://orcid.org/0009-0003-3927-7672>
Загороднюк І. — Інститут еволюційної екології НАН України, вул. Лебедева, 37, Київ, Україна, 03143, zoozag@ukr.net, <https://orcid.org/0000-0002-0523-133X>

Подано до редакції: 06.03.2026 / **Прорецензовано:** 24.04.2026 / **Прийнято до друку:** 25.05.2026 / **Оприлюднено:** 31.05.2026

Вступ

Світ сповнений краси, і особливе місце в її збереженні належить музеям. Природничі музеї відіграють важливу роль у розвитку особистості, плекаючи відповідальне ставлення до довкілля (Шидловський, 2012) та сприяючи формуванню екологічної свідомості. Адже саме через візуальне сприйняття реалістичних об'єктів у дітей та молоді закладаються основи любові до всього живого (Писанець, 2009). Створення складних біотопних груп та діорам дозволяє глядачеві побачити тварину в її природному оточенні, що формує ефект присутності та значно посилює освітній і виховний потенціал експозиції (Quinn, 2006).

Природничі музеї мають потужний емоційний та інтелектуальний вплив, становлячи унікальну категорію установа: тут експонати часто не просто накопичуються, а створюються безпосередньо в музейних лабораторіях спеціально для майбутніх виставок (Шидловський, 2012). Такі таксидермічні твори є іманентною частиною музейного простору, його неповторною цінністю та смисловим осердям. Вони не лише наповнюють зали, а й органічно формують інтер'єр, стаючи невід'ємним елементом загальної композиції (Євстаф'єв, 2024).

Сучасна таксидермія давно вийшла за межі ремісництва, перетворившись на складну міждисциплінарну галузь, де наукова точність анатомічного відтворення поєднується з високим художнім натхненням (Spase..., 2015). Цей процес вимагає від майстра не лише глибоких знань зоолога, а й віртуозності скульптора, що дозволяє вдихнути життя у статичний об'єкт, перетворюючи його на реалістичне «вікно в дику природу».

Окрім естетичного аспекту, таксидермічні колекції залишаються фундаментом для наукових досліджень. Вони слугують безцінним архівом даних про поширення видів, їхню морфологію та історію життя на Землі, що є критично важливим для розробки сучасних природоохоронних стратегій та вивчення еволюційних процесів (Kabir, 2017). Вони фіксують стан фауни в конкретні історичні проміжки, надаючи безцінний матеріал для вивчення рідкісних та зникаючих видів (Бескаравайний та ін., 2001). Музейна експозиція, створена на основі ретельних польових досліджень, стає важливим літописом природи окремих регіонів (Співаков та ін., 2005).

Цей нарис — про неперевершеного музейника і таксидерміста Олега Співакова, твори якого прикрашають декілька природничих музеїв, передусім Зоологічний музей Київського національного університету імені Тараса Шевченка та Музей історії та природи Карадагу на Карадазькій біостанції НАН України.

Митець почав свій шлях на Карадазі — творчій колиці багатьох відомих природничиків (Михаленко, 2023, 2024) — і продовжив в музеях Києва, відомих своєю давньою історією і прекрасними традиціями, зокрема й в галузі природничої музеології (Біляшівський, 2012; Загороднюк, 2022). Цей шлях супроводжувався і неперервним зростанням, і незмінним визнанням серед колег-музейників та численних шанувальників його талантів, як таксидермічних, так і художніх.

Деякі вжиті у тексті скорочення: ЗМКУ — Зоологічний музей Київського національного університету імені Тараса Шевченка (КНУ), КДЗМГ — Кримське державне заповідно-мисливське господарство (згодом Кримський природний заповідник), ННПМ — Національний науково-природничий музей НАН України.

Біографічний нарис

Олег Борисович Співаков народився 10 травня 1965 р. у м. Орджонікідзе, Крим. Ще з самого дитинства Олег Борисович проявляв інтерес до всього живого. Це помітив його батько, коли маленький Олег годинами спостерігав за світом комах. Щоб і надалі розвивати зацікавленість сина, батько подарував першу книгу з біології — «Ваша колекція», де детально розповідалось, як робити ентомологічні зразки. Потім було багато інших книг з біології, а першим посібником з таксидермії став 8-й том Дитячої Енциклопедії 1960-х років, де кілька сторінок присвячено виготовленню опудал птахів. Саме ці книжки, підтримка батьків, виваженість, зосередженість та бажання творити і стали основою подальшого розвитку митця.

Після закінчення школи в 1982 р. мешкав на Карадазькій біологічній станції у Феодосійському районі та працював у Карадазькому природному заповіднику. Спочатку різноробочим, потім лаборантом, інженером, але фактично весь час виконував обов'язки таксидерміста в музеї, який, по суті, і створював до 2008 р. Початок роботи було перервано на два роки мобілізацією до війська з 1984 до 1986 рр.; службу проходив на Далекому Сході, в м. Уссурійськ. Це був нелегкий період радянської дійсності, обтяжений «дідівщиною». Попри складнощі, Олег все одно продовжував дослідницьку роботу, збираючи колекцію нічних і денних далекосхідних метеликів в надії, що після демобілізації привезе її колезі-ентомологу в Криму. Співслужбовці з повагою дивились на його захоплення, іноді самі приносили якісь цікаві знахідки, і дали Олегу іронічний позивний «Кузнечик». На жаль, перед кінцем служби в приміщенні військової частини, де зберігалася колекція, виникла пожежа, і все згоріло.

Після повернення зі служби навчався на біологічному факультеті Сімферопольського університету (нині Таврійський університет) на заочній формі. Дипломна робота присвячена прибережно-водній орнітофауні південно-східної частини Криму.

В середині 1980-х брав участь у формуванні експозиції Феодосійського краєзнавчого музею (нині — музей старожитностей), який є одним з найстаріших музеїв Європи.

Наприкінці 80-х років приїхав на місяць до Московського біологічного музею ім. К. А. Тимірязєва для підвищення кваліфікації. Але, як він потім зізнавався, нічого нового для себе звідти не виніс, а навпаки, здивував і захопив тамтешніх фахівців своїми методиками у виготовленні муляжів земноводних та плазунів. Рівень володіння методикою був настільки приголомшливий, що в 1993 р. до Олега Борисовича приїжджала у відрядження співробітниця того музею, з метою

навчитися препарувати раканю та відливати муляжі. В 1990-х роках, відвідуючи музей історії та природи Карадагу, наша колега, зоолог Л. М. Прокопчук, теж звернула увагу на цей експонат.

З кінця 1990-х років у зимові періоди Олег Борисович приїжджав до Києва на запрошення однієї приватної фірми, що в пошуках нових сфер комерційної діяльності намагалася створити студію таксидермії. В цей період, в пошуках співробітників, Олег вперше відвідав Зоологічний музей Київського національного університету ім. Т. Г. Шевченка, а згодом познайомився і з майбутнім колегою — Михайлом Головушкіним. Створити студію тоді не вдалося, але співпрацюючи з М. Головушкіним, він ще довгі роки продовжував створювати експозицію університетського музею. Фактично весь свій умовно вільний час Олег Борисович проводив у студіях (рис. 1).



Рис. 1. Олег Співаков в приватній студії (2010 р.) та в майстерні за роботою (2008 р.). Фото з сімейного архіву (а) та фото І. Костюка (б).

Fig. 1. Oleg Spivakov in private studio (2010) and at work in the master's studio (2008). Photo from the family archive (a) and photo by I. Kostjuk (b).

У 2001 р. упродовж місяця працював у приватній студії таксидермії Володимира Сухарева в Санкт-Петербурзі, де переймав досвід, методики та технології сучасної світової таксидермії (на той час В. Сухарев був провідним фахівцем в таксидермії, активно спілкувався з провідними фахівцями світу, та зробив справжній прорив у розвитку цієї галузі мистецтва на теренах колишнього Союзу). Отриманий від В. Сухарева безцінний досвід надав великою поштовху та вивів на якісно новий рівень роботи Олега Співакова, надавши їм більше динаміки.

У серпні 2008 р. остаточно переїхав до Києва, де і працював таксидермістом зоологічного музею КНУ ім. Т. Г. Шевченка наступні 13 років, до вересня 2021 р. Батьки залишилися в смт. Орджонікідзе (Автономна Республіка Крим), для догляду за якими приблизно в 2019 р. Олег Співаков повернувся до Криму. У травні 2025 р. О. Б. Співаков досяг пенсійного віку і покинув цю справу за низкою життєвих обставин.

Музейна робота: таксидермія і колекції

Робота в музеях Криму та Києва сприяла формуванню інтересу до всіх тварин, які потрапляли до морозилок. Олег Борисович майстерно працював з різними об'єктами: від дрібних хребетних (амфібії, птахи, дрібні ссавці) до великих представників фауни (ведмеді, африканські антилопи, тощо). Досконало володіючи різними методиками таксидермії, він успішно працював як з

«пухнастими» об'єктами, так і з «голими», вкрай непростими для таксидермії (риби, амфібії), досягнувши неймовірно реалістичної майстерності у відтворенні форми, природних поз та прижиттєвого забарвлення.

Особливість та цінність робіт Олега Співакова полягає в тому, що він використовував лише загиблих тварин, тобто вони не були здобуті спеціально. Лише декілька зразків було спеціально добуто в Криму, адже, насамперед, становили інтерес для орнітологів в рамках дослідження орнітофауни Криму. Кожен препаратований екземпляр є його персональним надбанням, а це вимагало ретельної праці, особистого часу та значних зусиль. Завдяки винятковій якості виконання всі експонати мають високу експозиційну цінність, а не лише для фондового зберігання.

Художній талант Олега Борисовича проявлявся у вмінні доводити свої таксидермічні твори до довершеності за допомогою фарб. Хоча в роботі зі ссавцями таке вимагалось тільки при оформленні очей, губ чи язика, то при відновленні прижиттєвого забарвлення риб та амфібій це було набагато складнішим завданням.

1. Кримський період. Відновлення музею історії та природи Карадагу

Найбільшою та найважливішою роботою в житті Олега Борисовича, за його власними словами, став Музей природи Карадагу, над яким він працював 26 років. За чверть століття було зібрано колекцію зоологічних експонатів, достатню за чисельністю для створення повноцінної експозиції. Після чого тодішня директорка Карадазького природного заповідника А. Л. Морозова вирішила відтворити знищений нею ж в кінці 1960-х років музей, що був створений засновниками Карадазької наукової станції ще на початку ХХ ст., та повернула історичне приміщення музею в 150 м², в якому до цього нею були зроблені лабораторії (Співаков та ін., 2005).

В 1990-ті маленький музей площею 20 м² знаходився в колишніх кімнатах тимчасового проживання робочого персоналу. Колекція складалася з приблизно 100 видів наземних хребетних, приблизно 180 видів безхребетних та декількох муляжів риб (Співаков та ін., 2005).

Більшість експонатів як музею, так і приватних колекцій в Криму до 2008 р. створювалися не в окремому робочому приміщенні, а вдома (рис. 2). Якийсь час в 1990-ті роки дирекція наукової станції виділила Олегу Співакову невелике приміщення. Воно було темне, холодне та не надавало можливості нормально творити. У зв'язку з цим, роботи автор створював біля великого арочного вікна у своїй квартирі, яка знаходилася в історичній будівлі — колишньому лікувальному закладі Т. І. В'яземського, засновника Карадазької біологічної станції. Це не додавало комфорту в побуті, але з розумінням та терпінням зустрічалося сім'єю.



Рис. 2. Місця роботи Олега Співакова в Криму: (а) в своїй квартирі-майстерні, приблизно 2003 р. (фото з сімейного архіву); (б) будинок на Карадазі, де проживав та творив, 2008 р. (фото С. Гаснікова).
Fig. 2. Oleg Spivakov's places of work in Crimea: (a) in his studio apartment, ca. 2003 (photo from the family archive); (b) the house in Karadag where he lived and worked, 2008 (photo by S. Gasnikov).

Для нової експозиції Олег Борисович Співаков самотужки спроектував новітні вітрини з продуманим освітленням для зоологічних, ботанічних та геологічних експонатів і впродовж 3–4 місяців з натхненням працював над їхнім наповненням. При цьому він навмисно відійшов від традиційної побудови біологічної експозиції за систематичними ознаками, а вирішив будувати її за концепцією біотопів, що були характерні для Карадазького заповідника (прибережно-водний, степовий, рідколісний, скельний та гірсько-лісовий). Загалом у зоологічному розділі експозиції

налічується приблизно 204 види, з них два види риб, п'ять видів плазунів, один вид земноводних, 178 видів птахів та 12 видів ссавців (разом близько 400 зразків) (Співаков та ін., 2005; Співаков, Потапенко, 2007). Земноводні та плазуни південно-східного Криму представлені серіями фотографій та, частково, муляжами. (Геологічна частина мінералогічних експонатів оформлена доктором геологічних наук Є. Спіридоновим).

Кореспондент «Крим.Реалії» (ім'я, на жаль, не відоме) ознайомився з експозицією музею і зобразив усе на фото в репортажі «Застиглі миттєвості й століття: природа в музеї Карадазького заповідника» (21.05.2019, URL) (рис. 3).

У першій вітрині представлена прибережна полоса: постійні жителі — мартин жовтоногий (*Larus cachinnans*) та баклан чубатий (*Gulosus aristotelis*); інші експонати — міграційні або зимуючі види, наприклад, орлан-білохвіст (*Haliaeetus albicilla*). Орлан — це вид, який зараз не спостерігається на Карадазі, але у 50-ті роки минулого сторіччя гніздо цього виду було на Золотих воротах, проте його зруйнували рибалки (Співаков та ін., 2005; Морозова, 2007).

У другій та третій вітринах демонструються експонати птахів, які проживають на прісних водоймах та в основному мігрують навесні і восени, або зустрічаються під час зимівлі: побережник малий (*Calidris minuta*), галагаз (*Tadorna tadorna*), лиска (*Fulica atra*), тощо.

У наступній вітрині показано осоїда (*Pernis apivorus*), ховраха малого (*Spermophilus pygmaeus*), тушкана великого (*Allactaga major*), тощо. Окрасою вітрини є композиція, де яструб великий (*Astur gentilis*) нападає на фазана (*Phasianus colchicus*) (Співаков та ін., 2005; Морозова, 2007).



Рис. 3. Експонати музею історії та природи Карадагу: (а) орлан білохвіст (*Haliaeetus albicilla*); (б) яструб великий (*Astur gentilis*) та фазан (*Phasianus colchicus*); (с) галагази (*Tadorna tadorna*); (д) лисиця руда з лисенятами (*Vulpes vulpes*), поросся свині дикої (*Sus scrofa*) (за: Крим. Реалії 2019).
Fig. 3. Exhibits of the Museum of History and Nature of Karadag: (a) White-tailed Eagle (*Haliaeetus albicilla*); (b) Eurasian goshawk (*Astur gentilis*) and Common pheasant (*Phasianus colchicus*); (c) Common shelduck (*Tadorna tadorna*); (d) red fox with her cubs (*Vulpes vulpes*), wild boar piglet (*Sus scrofa*) (after: Krym. Reality 2019).

Рідколісся представлено як різноманітною пернатою «дрібнотою» (в'юрок (*Fringilla montifringilla*), кропив'янка сіра (*Curruca communis*), вівчарики (*Phylloscopus collybita*, *P. trochilus*, *P. sibilatrix*), тощо), так і великими хижаками: лисиця звичайна (*Vulpes vulpes*), сапсан (*Falco peregrinus*) і його найближчий родич балабан (*Falco cherrug*), та найбільший з пернатих падальників України — гриф чорний (*Aegypius monachus*) (Співаков та ін., 2005; Морозова, 2007).

В останній вітрині розміщено мешканців лісів Карадазького природного заповіднику: горлиця звичайна (*Streptopelia turtur*), золотомушка жовточуба (*Regulus regulus*), совка (*Otus scops*), пугач (*Bubo bubo*), борсук (*Meles meles*), куниця кам'яна (*Martes foina*), тощо. Муляжами з гіпсу або епоксидної смоли представлено полоза жовточеревого (*Dolichophis caspius*), полоза леопардового (*Zamenis situla*), ропуху зелену (*Pseudepidaele viridis*), ящірку кримську (*Podarcis tauricus*) та ящірку скельну (*Darevskia saxicola*) (Співаков та ін., 2005).

На честь 90-річного ювілею Карадазької біологічної станції та 25-річчя Карадазького природного заповідника влітку 2004 р. музей було відкрито. Після цього відносини Олега Співакова і адміністрації заповідника в особі А. Морозової почали поступово погіршуватися. Використовуючи різні способи тиску, його фактично змусили звільнитися та залишити головну справу життя.

Зараз зроблений ним музей функціонує як успішний комерційний заклад. Його кожного року відвідують тисячі туристів, що незмінно захоплюються побаченням рівнем робіт. Проте, внаслідок дій окупаційної влади та некваліфікованого персоналу, що зараз працює в музеї, експозиція поступово приходиться нищитися.

2. Київський період. Зоологічний музей КНУ ім. Т. Г. Шевченка

Працюючи в Зоологічному музеї Київського національного університету ім. Т. Г. Шевченка, Олег Співаков створив велику кількість експонатів, доповнивши експозицію майже сотнею власноруч препаратів зразків. Особливо співробітники музею захоплювалися його рибами.

Для експозиції музею ЗМКУ Олег Співаков створив багато експонатів різних видів іхтіофауни світового океану (рис. 4).

Серед них — дрібні риби (окунь морський європейський (*Dicentrarchus labrax*) з родини моронові (Moronidae), спиноріг європейський (*Balistes capriscus*), землерий атлантичний (*Lithognathus mormyrus*), тощо), привезені Л. М. Прокопчук з Туреччини, рідкісні риби ендеміки з Антарктиди (вужконіс Шарко щуковидний (*Parachaenichthys charcoti*), нототенія мармурова (*Notothenia rossii*), нототенія широколоба (*Notothenia coriiceps*), нототенія-зіркогляд лиса (*Lindbergichthys nudifrons*), бичкова нототенія зелена (*Gobionotothen gibberifrons*), трематомус строкатий (*Trematomus bernacchii*), тощо), що були привезені колегою М. Головушкіним, та риби з Перської затоки: риба-сержант звичайний (*Abudefduf vaigiensis*), луціан Еренберга (*Lutjanus ehrenbergii*), терапон триполосий (*Terapon jarbua*), геррес тонкий (*Gerres oblongus*), яких Олег Борисович привіз особисто.

Серед робіт варто відзначити чорноморських жителів родини бичкові (Gobiidae): бичок-кругляш (*Gobius cobitis*), бичок-кругляк (*Neogobius melanostomus*), бичок жабоголовий (*Mesogobius batrachocephalus*); родину скорпенові (Scorpaenidae), яка представлена скорпеною чорноморською (*Scorpaena porcus*); зіркогляд атлантичний (*Uranoscopus scaber*) з родини зіркоглядові (Uranoscopidae) та зеленушка плямиста (*Symphodus ocellatus*) з родини губаневих (Labridae).

Окрім створення нових експонатів, Олег Борисович проводив реставраційні роботи експозиції в ЗМКУ, підфарбовуючи старі експонати риб, адже раніше ці зразки були вкриті якимось лаком, що згодом потемнів, та надав цим експонатам однакового бурого кольору. Серед них — рідкості з тропічних та теплих вод світового океану, найяскравіші представники яких є причепа звичайна (*Echaneis naucrates*) з родини причепових (Echeneidae), родина спинорогових (Balistidae), яка складається зі спинорігу королівського (*B. vetula*), спинорігу плямистого (*B. punctatus*) та родина щетинозубі (Chaetodontidae) представлена рибою-метеликом коричневооголовим (*Chaetodon modestus*) та рибою-метеликом трьохстрічковим (*C. robustus*). З родини лососевих (Salmonidae) був реставрований харіус амурський (*Thymallus arcticus grubei*) з басейну річки Амур, східна Азія. Також до рук майстра на реставрацію потрапила рідкісна риба-кабан, або, як її ще називають, риба-вепр (*Capros aper*), яка є єдиним представником своєї родини капрові (Caproidae).

У жовтні 2022 р. музей зазнав руйнувань внаслідок ракетного обстрілу рф. Вітрини з хрящовими й кістковими рибами, плазунами та земноводними, що стояли біля фасадної стіни «Червоного корпусу» і над якими чимало працював Олег Борисович (рис. 5), були знищені. За підтримки спонсорів зі Співки випускників КНУ та коштом керівниці музею Ж. Розори та її колеги М. Головушкіна і силами колективу музею експозицію було відновлено та відкрито 17 травня 2025 р. У нових шафах знову постали до загального споглядання вцілілі, реставровані та наявні у фондів колекція зразків, серед яких є і роботи Олега Борисовича Співакова.

В огляді колекцій котів у музеях України щодо ЗМКУ згадано три високоцінні експонати його авторства, серед них — зразок рисі (*Lynx lynx*), фігуру якої виготовлено спільно з М. Головушкіним (Загороднюк та ін., 2022).



Рис. 4. Риби, виготовлені та (або) розфарбовані Олегом Співаковим, в експозиції ЗМКУ: (а) вузьконіс Шарко щуковидний (*Parachaenichthys charcoti*) та (b) нототенія широколоба (*Notothenia coriiceps*) з Антарктиди; (с) відреставрований бекаси морські звичайні (*Macroramphosus scolopax*); (d) відреставрований спиноріг плямистий (*Balistes punctatus*), (e) лисичка японська (*Percis japonica*). Фото з архіву авторів.

Fig. 4. Fish, crafted and/or painted by Oleg Spivakov, on display at ZMKU: (a) Charcot's dragonfish (*Parachaenichthys charcoti*) and (b) black rockcod (*Notothenia coriiceps*) from Antarctica; (c) longspine snipefish (*Macroramphosus scolopax*); (d) restored bluespotted triggerfish (*Balistes punctatus*), (e) dragon roacher (*Percis japonica*). Photo from the personal authors archive.



Рис. 5. Олег Співаков за роботою в Зоологічному музеї Київського університету: (а) робота таксидермічною фігурою свині дикої (2009), (b) реставраційні роботи з акул (2010). Фото І. Костюка.

Fig 5. Oleg Spivakov at work in the Zoological Museum of Kyiv University: (a) working on a taxidermic figure of a wild boar (2009), (b) restoration work on sharks (2010). Photo by I. Kostjuk.

На початку 2010-х років М. М. Головушкіним були привезені шкурки африканських птахів, з яких Олег Співаков виготовив експонати для експозиції Зоологічного музею КНУ ім. Т. Г. Шевченка: альціон буроголовий (*Halcyon albiventris*), багадаїс білочубий (*Prionops plumatus*), чепіга бурокрила (*Colius striatus*) та ін. У монографії, присвяченій зоологічним музеям України (Шидловський, 2012), окремо відмічено один із найпримітніших творів майстра — динамічну композицію «Полювання беркута на лисицю» (цей твір помилково віднесений до експозиції ЗМКУ).

У 2010 р. в Міжнародному виставковому центрі в Києві відбулася найбільша українська виставка присвячена рибальству, полюванню та таксидермії — 18 міжнародна виставка «Полювання та риболовля». На ній Олег Співаков спільно з Михайлом Головушкіним представив виставковий стенд із власними працями, який мав помітний успіх, про що згадують і його колеги (Ж. Розора), і його діти. На виставці було представлено екземпляри з ЗМКУ: куду великий (*Tragelaphus strepsiceros*), імпапа (*Aepyceros melampus*), свиня дика (*Sus scrofa*), композиція «Полювання беркута на лисицю» та голова зебри (*Equus quagga*), автором яких є Олег Співаков спільно з М. Головушкіним (рис. 6).



Рис. 6. Деякі роботи Олега Співакова в ЗМКУ: (а) альціон буроголовий (*Halcyon albiventris*), фото з архіву (приблизно 2011 рік); (б) багадаїс білочубий (*Prionops plumatus*), фото з архіву (приблизно 2011 р.); (с) муфлон (*Ovis musimon*), фото з архіву авторів (2018); (д) куду великий (*Tragelaphus strepsiceros*), фото з архіву (2018); (е) імпапа (*Aepyceros melampus*), фото з архіву (2018); (ф) кіт лісовий (*Felis silvestris*), фото з архіву (2015 р.).

Fig. 6. Some works by Oleh Spivakov at the ZMKU: (a) Brown-hooded Kingfisher (*Halcyon albiventris*), photo from the archive (approx. 2011); (b) White-crested Helmetshrike (*Prionops plumatus*), photo from the archive (approx. 2011); (c) mouflon (*Ovis musimon*), photo from the family archive (2018); (d) greater kudu (*Tragelaphus strepsiceros*), photo from the archive (2018); (e) impala (*Aepyceros melampus*), photo from the archive (2018); (f) European wildcat (*Felis silvestris*), photo from the archive (2015).

3. Приватні колекції

Окрім роботи у природничих музеях, Олег Співаков активно працював у приватних студіях таксидермії. Після переїзду до Києва, працюючи в ЗМКУ, Олег Борисович прагнув розширити сферу діяльності та професійно розвиватися. Він познайомився і співпрацював із кількома колегами-китаянками, які також займалися створенням таксидермічних студій.

Упродовж двох років Олег підтримував зв'язок зі студією «Золотий майстер», де він створив повнорозмірні таксидермічні скульптури дикого кабана, африканської антилопи гну, триметрового нільського крокодила та чимало дрібних тварин — приватних мисливських трофеїв. У цей період замовниками робіт найчастіше ставали високопосадовці.

Згодом Олег познайомився з ще одним київським майстром, ветеринаром за фахом Євгеном Нагорним, який заснував приватну таксидермічну студію «Стрепет». Маючи багато спільного в поглядах на життя та професію, Олег Борисович тісно співпрацював із ним упродовж майже десятиліття. Саме в цій студії, у дружній та творчій атмосфері, він створив свої найбільш вдалі, динамічні та художньо довершені роботи. Тут колеги сміливо вигадували, опановували та впроваджували нові методики й технології, що давало змогу значно підвищувати рівень майстерності та конкурувати з іншими приватними студіями. Загалом саме цей столичний період став найбільш плідним і багатим на різноманітні зоологічні об'єкти (рис. 7).

На жаль, погіршення економічного стану в країні, пов'язане з драматичними подіями у внутрішній політиці, а згодом і повномасштабним вторгненням зовнішнього ворога, поступово призвело до занепаду української таксидермії. До цього додалися проблеми зі здоров'ям літніх батьків Олега Борисовича та усвідомлення того, що його власний вік обмежує перспективи подальшого творчого розвитку. Усе це спричинило завершення студійного періоду та таксидермічної діяльності Олега Співакова.

Публікації та колекційні збори

Попри те, що авторський доробок Олега Співакова налічує небагато публікацій, його наукова діяльність широко відображена в працях дослідників Криму. Вагомий внесок підтверджується численними посиланнями на його знахідки в роботах колег, зокрема в орнітологічних фауністичних замітках.

Будучи учнем дев'ятого класу, в жовтні 1980 р., Олег знайшов між рамами вікна кажана з переломом крила. Кажан був ідентифікований як нетопир середземноморський (*Pipistrellus kuhlii*), на той час вкрай рідкісний для України вид. Із загиблої згодом тваринки Олег зробив таксидермічний експонат та передав його в дарунок Феодосійському краєзнавчому музею. Згодом, коли Олег став співробітником Карадазького заповідника, він повідомив цю історію зоологу заповідника М. Бескаравайному, і той попросив Олега забрати з краєзнавчого музею цей екземпляр, на основі якого підготував відповідну публікацію (Бескаравайний, 1985). Тушка з черепом № 2485 зберігалася в колекції КДЗМГ (нині Кримський природний заповідник) (Бескаравайний, 1985; Дулицький, 2004) і згодом цю знахідку згадано і у книзі «Звірі Криму» (Дулицький, 2001). Як бачимо, шкільна знахідка Олега мала значну наукову цінність. Окрім того, у фондах ННПМ є зразок цього виду № 10964 (♂) з етикеткою «Судацький р-н, с. Курортне, 13.11.1986, шк.+чр., leg. Кузнецов, Співаков». Цей зразок з низкою інших кажанів (бл. 15 екз.) у грудні 2002 р. отримано одним з авторів цього нариса (І.З.) від М. Бескаравайного і передано до ННПМ.

Також у фондах ННПМ зберігаються тушки пташенят крячка білощокого (*Chlidonias hybrida*), що був вперше знайдений Олегом Співаковим на гніздуванні на території Кримського півострову біля Феодосії у 1989 р. (Пекло, 1997).

Було ще багато нових знахідок, що описані згодом М. Бескаравайним. Зокрема, до колекції біостанції (Бескаравайному) було передано декілька колекційних тушок птахів та ссавців, нових на той час для карадазького регіону (а деякі й для Криму). Це матеріали, зібрані й препаровані самим Олегом Співаковим: синиця вусата (*Panurus biarmicus*), крячок білощокий (*Chlidonias hybrida*), соловейко західний (*Luscinia megarhynchos*), золотомушка червоночуба (*Regulus ignicapilla*), вівсянка білоголова (*Emberiza leucocephalos*), хом'ячок сірий (*Cricetulus migratorius*) та багато інших.

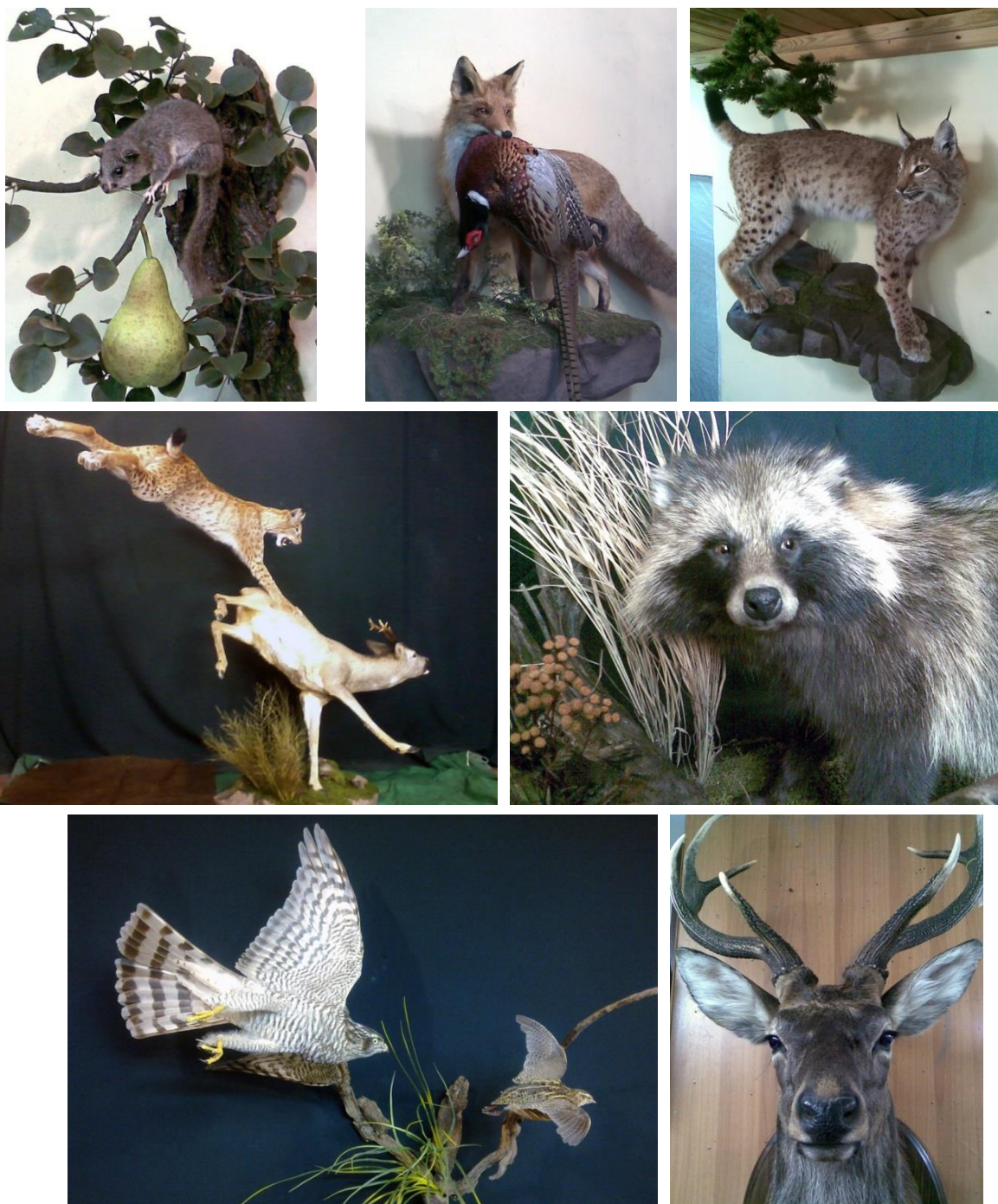


Рис. 7. Роботи Олега Співакова з приватних студій: (а) вовчок сірий (*Glis glis*) (2012); (b) лисиця руда (*Vulpes vulpes*) спіймала фазана (*Phasianus colchicus*) (2013); (c) рись євразійська (*Lynx lynx*) (2011); (d) полювання риси (*Lynx lynx*) на сарну (*Capreolus capreolus*), (2018); (e) енот уссурійський (*Nyctereutes procyonoides*) (2012); (f) яструб малий (*Accipiter nisus*) женеться за перепілкою (*Coturnix coturnix*) (2013); (g) олень благородний (*Cervus elaphus*) (2009). Фото з архіву авторів.

Fig. 7. Some works by Oleh Spivakov from private studios: (a) edible dormouse (*Glis glis*) (2012); (b) red fox (*Vulpes vulpes*) with a Common Pheasant (*Phasianus colchicus*) prey (2013); (c) Eurasian lynx (*Lynx lynx*) (2011); (d) Eurasian lynx (*Lynx lynx*) hunting a roe deer (*Capreolus capreolus*) (2018); (e) Ussuri raccoon dog (*Nyctereutes procyonoides*) (2012); (f) Eurasian Sparrowhawk (*Accipiter nisus*) hunts Common Quail (*Coturnix coturnix*) (2013); (g) red deer (*Cervus elaphus*) (2009). Photos from the authors archive.

В орнітологічній колекції ННПМ (С. Тайкова, особ. повід.) є такі зразки птахів, зібрані Олегом Співаковим (всі в окол. Карадазької біостанції):

- *Calidris canutus* (побережник ісландський) — № 40803/6 (f) 06.01.1993, Карадазький заповідник, біостанція;
- *Chlidonias hybridus* (крячок білощокий) — № 40759/30 (pull), 02.07.1989, р-н м. Феодосія, окол. смт Приморський; • те саме, № 40760/31 (pull), 22.07.1989, там само, • *Panurus biarmicus* (синиця вусата) — № 40054/59 (m), № 40055/60 (f), 28.03.1984, Карадазький заповідник, біостанція; • *Motacilla citreola* (Плиска жовтоголова) — 40092/49 (m), 21.04.1988, Карадазький заповідник, біостанція; • *Regulus ignicapillus* (золотомушка червоночуба) — № 40862/29 (m), 25.04.1990, Карадазький заповідник, біостанція.

Живучі на природі та будучи уважним спостерігачем, Олег Співаков реєстрував різні рідкісні види та ділився своїми спостереженнями з колегами науковцями. Серед прикладів, які є в публікаціях колег, можна виділити такі:

- 21.04.1988 біля Карадагу добуто екземпляр самця плиски жовтоголової (*Motacilla citreola*) (Kinda et al. 2003).
- 07.10.1989 на мілководному прісному Акмонайському озері антропогенного походження в селищі Приморський Феодосійського району Олег Співаков спостерігав одну особину косаря (*Platalea leucorodia*) з родини ібісових, який занесений до Червоної книги України (Бескаравайний, 1996, 2001); зареєстрував одну з найбільших зграй (79 особин) журавля сірого (*Grus grus*) на степових ділянках водойм; відмітив пару пісочника морського (*Anarhynchus alexandrinus*); спостерігав зграю з 15 особин дерихвоста лучного (*Glareola pratincola*) (Бескаравайний, 2001); зареєстрував зграю синьошийок (*Luscinia svecica*), нарахувавши 18 особин (Кінда та ін., 2003).
- 25.04.1990 в парку Біостанції Карадазького заповідника добутий екземпляр золотомушки червоночубої (*Regulus ignicapilla*), що спантеличило науковців. Раніше перебування виду в цьому районі не спостерігали, адже на гніздуванні в Криму він поширений дуже спорадично і відносно стабільно зустрічається лише у двох місцях: у районі Червоного каменя та в парковій зоні Япти (Кінда та ін., 2003).
- 08.02.1991 знайдено молодого птаха мартина каспійського (*Ichthyaetus ichthyaetus*), що загинув біля смт Орджонікідзе. Зазвичай ці птахи з'являються біля морських берегів у другій половині зими на короткий час при значних похолоданнях (Бескаравайний, 1996).
- 16.08.1992 О. Б. Співаков знайшов місце гніздування пірникози чорношиїї (*Podiceps nigricollis*) в околицях м. Феодосія селища Приморський (Бескаравайний та ін., 1993).
- 06.01.1993 здобув побережника ісландського (*Calidris canutus*) на морському березі біля Карадагу. Зазвичай цей вид регулярно зимує в Тунісі та на Сицилії, та інколи зимував на чорноморському прибережжі та озерах Болгарії. В Україні це дуже рідкісний залітний вид (Кінда та ін., 2006).
- 23.03.1997 був добутий самець вівсянки білоголової (*Emberiza leucocephalos*) Добути екземпляри були препаровані та зберігаються в експозиції музею історії та природи Карадагу (Бескаравайний та ін., 2001)
- 20.05.2000 спостерігав дві пари кам'янки попелястої (*Oenanthe isabellina*), східніше смт Орджонікідзе в долині Двоякірній (Кінда та ін., 2003).

У січні 2002 р. Олег Борисович спостерігав десять грифів, сипа та двох могильників в районі Карадазького заповідника: ці рідкісні птахи «бенкетували» на викинутій туші тварини з таксидермічної лабораторії (Цвєлих та ін., 2018). За спогадами К. Грінінг-Гері, викинуті з лабораторії відходи були частинами туші крокодила, над експонатом якого працював Олег Співаков за приватним замовленням.

Олег Борисович передусім був практиком із художнім світосприйняттям. Його публікаційна активність була зосереджена на описі деяких тонкощів таксидермічних методик у матеріалах музеологічних конференцій (Співаков, Казарян, 2007).

Також він був автором розділу про музей історії та природи Карадагу в колективній монографії «Путівник Заповідний Карадаг. Нарис-путівник» (рос.) 2007 р. випуску (Морозова, 2007); співавтором у статтях про музей (Співаков та ін., 2005) та обладнанню вітрин (Співаков, Потапенко 2007), в яких детально описано принцип, структурування експозиції та надав детальний систематичний перелік зразків.

Живопис

Окрім створення таксидермічних експонатів, Олег Співаков займався живописом. Час від часу, така зміна діяльності була потрібна для відновлення творчих сил. Він ніколи не вважав себе живописцем, малювання було для нього віддушиною та емоційною розрядкою. Сюжетами ставали море, нічні краєвиди та птахи (рис. 8).

У 1990-ті роки, коли бракувало матеріалів, Олег Борисович малював на кримській гальці, оргаліті та аквареллю на папері. В кінці 90-х років Олег Співаков відклав живопис та зосередився на таксидермії. Втім, пензля не покинув — він був потрібен для фінального оформлення експонатів і надання їм довшеного вигляду.

З 2010 року Олег Борисович знову повернувся до малювання. Маючи ширші можливості, він почав використовувати полотно та яскравішу палітру кольорів. Саме в цей час почали з'являтися анімалістичні картини. Проте, у творах відчувається сильна туга за рідним краєм, який, на жаль,

довелося покинути. Сюжети картин незмінні — це рідний Крим, в якому Олег Співаков прожив свої роки становлення.



Рис. 8. Живопис Олега Співакова: (а) Скеля Іван Розбійник вночі. Олія, морська галька (1993); (b) Кара Даг. Акварель, папір (1996); (c) Скеля Левінсона-Лессінга. Олія, оргаліт (1997); (d) Аю-Даг навесні. Олія, полотно (2020); (e) Синьошийка на очереті. Олія, полотно (2023).

Fig. 8. Painting by Oleg Spivakov: (a) Ivan Rozbiynyk Rock at night. Oil on sea pebbles (1993); (b) Kara Dag. Watercolour on paper (1996); (c) Levinson-Lessing Rock. Oil on hardboard (1997); (d) Ayu-Dag in spring. Oil on canvas (2020); (e) Bluethroat on the reeds. Oil on canvas (2023).

Не маючи художньої освіти, Олег Співаков не прагнув визнання в живописі. Але, працюючи таксидермістом, він малював для душі. Душі, яка закохана в світ природи. Окремі його твори прикрашають основну робочу кімнату співробітників Зоологічного музею КНУ.

Характеристичне

У 1980-ті та 90-ті роки життя на Біостанції, як і в самому Криму, було дуже важким: постійні відключення світла, відсутність водопостачання, телефону та наявність лише пічного опалення. До найближчого районного центру (м. Феодосія) треба було їхати годину гірськими дорогами на розваленій маршрутці, яка чотири рази на день заїжджала на Біостанцію (взимку тільки двічі). Це

було місце з неймовірно красивою природою, але й з непомірно важкими побутовими умовами, де багато місцевих мешканців не витримували таких випробувань і знаходили розраду в алкоголі. Олег Борисович обрав інший шлях — шлях творчого запою. Там, на горі, в нього була майже повна аскеза, єднання з природою та власними думками в супроводі творів класичної музики. Ідилія періодично переривалась на буденні справи: принести води, дров, балон з газом і сходити в магазин, який був у 6 км від дому.

Враховуючи віддаленість від цивілізації, у майстра був постійний творчий голод: питання без відповідей, бо не було ані спеціалістів, які пояснять, ані майстер-класів, ані художніх студій та іншого. Інструменти, фарби, література, витратні матеріали привозили з великих міст: Сімферополя, Києва та Санкт-Петербурга. Навіть пошук звичайного мастихіну був задачею підвищеної важкості.

Не маючи нормальних та гідних умов для життя, роботи, розвитку, завдяки своїй завзятості та дійсно щирій любові й відданості справі, Олег Співаков зробив себе самотужки. Самостійно створював деякі методики, експериментував з матеріалами і т.д. Життя на Біостанції показало, що людина може розраховувати лише на себе та свої сили. Багато таксидермістів, маючи доступ до благ цивілізації, не мають навіть дрібної можливості конкурувати з Олегом Співаковим, людиною, яка спустилася з Кримських гір і показала справжню майстерність.

Колеги згадують Олега Співакова як людину надзвичайно виважену, акуратну та інтелігентну. У роботі він завжди був повністю зануреним у процес створення своїх творів. Також, вирізнявся стриманістю та небагатослівністю; він охоче підтримував професійні розмови, проте ніколи не виносив на публіку особисті чи сімейні теми. І в стінах майстерні і поза ними він був напрочуд скромним та невибагливим, адже головним для нього завжди залишалися об'єкти творчості.

За спогадами директорки ЗМКУ Ж. Розори — «винятковий, тактовний, талановитий. Художник від бога. Не талант, а талантище. І вершина такту». Його колега по музею Л. Прокопчук: «Незамінний і талановитий. Малював, багато, одна з його картин висить у закутку, де всі п'ють чай. Картини розкішні. Якби вирішив повернутися, я би першою звільнилася, щоби була для нього посада. Але він не повернувся».

На Карадазі пожежі були постійним явищем, особливо влітку, коли вся трава вигорала. Враховуючи те, що жодна пожежно-рятувальна організація не мала спроможності дістатися до високогірних місць загоряння, в народі діяло негласне правило: пожежу гасимо всі разом. Відтак, Олег Борисович був постійним учасником пожежогасіння. Тому, коли почалася Революція Гідності в 2013–2014 роках він, як людина честі та сумління, також не зміг залишатися осторонь та брав активну участь у протистояннях.

Олег дуже близько прийняв революційні події, через що й не бачив себе в тимчасово окупованому Криму. Проте коли батьки постаріли і тато помер, був змушений виїхати до м. Орджонікідзе доглядати за мамою, що сталося близько 2019–2022 рр. Як повідомила його дочка (Катерина Грінінг-Гера), «тато має дуже чутливу натуру і ніжний внутрішній світ. Коли почалося повномасштабне вторгнення, він дзвонив до мене і я чула що він плакав, але стримувався. Тому думаю, що історія з втратою рідних сильно на нього вплинула». Після похорону тата він і звільнився із ЗМКУ. Коли ж не стало й мами, він виїхав з Криму.

З часом уся родина Олега Борисовича переїхала до Києва. У столиці мешкає та працює його брат, а також діти — син Владислав (1995 р. н.), якого батько забрав із тимчасово окупованого Криму у 2014 р., та донька Катерина (1994 р. н.). Після завершення роботи в ЗМКУ діяльність Олега Співакова довгий час залишалася поза полем зору колег. Під час роботи над цією публікацією (за сприяння Д. Михаленка) рідні Олега Борисовича відгукнулися і зазначили, що «Він покинув цю справу. Зараз займається зовсім іншим, але у нього завжди були золоті руки, і знаю, що не пропаде. Він і чудовий технар був до речі... Він зараз в безпеці і відчувається добре. На зовсім новому місці». Для фахової спільноти Олег Співаков залишається прикладом виняткової майстерності, чий внесок у розвиток таксидермії в ЗМКУ важко переоцінити.

Рішення покинути таксидермію було зумовлене не лише життєвими обставинами, а й глибоким внутрішнім відчуттям професійної межі. Олег Борисович усвідомлював, що вікові зміни починають впливати на філігранність його роботи, і, як справжній перфекціоніст, не міг допустити зниження якості своїх творів. Він пояснював це просто: «Вже не та чутливість рук та не той зір». До того ж, попит на таксидермію згасає в країнах, де починаються економічні проблеми. Залишивши світ мистецтва, з 2023 р. несподівано знайшов себе в у надважливій в наш час мілітарній сфері.

Незважаючи на те, що Олег Співаков відійшов від активної таксидермічної діяльності, його майстерно виконані твори залишаються невід'ємною частиною та окрасою експозицій кількох відомих музеїв.

Післямова

Життєвий і творчий шлях Олега Співакова — це не лише яскрава сторінка в історії сучасної української таксидермії, а й глибока ілюстрація того, як розвивається мистецтво в межах музейних інституцій. Ця історія надихає своїми успіхами та водночас застерігає через вразливість творчої особистості перед викликами часу.

Досвід Олега Борисовича демонструє дивовижну здатність майстра розбудовувати справу фактично з нуля, розвиваючи творчість навіть за відсутності належних умов. Вона підкреслює, наскільки критично важливим для митця є пошук однодумців. Саме зустріч із фаховою та тактовною спільнотою (що особливо яскраво проявилось в київський період) дозволила йому вивільнити час для чистого мистецтва, не розпорошуючи сили на побутові чи ресурсні труднощі. Умови, в яких працював майстер, дозволили йому не звужувати спеціалізацію, а реалізувати весь спектр своїх обдарувань — від польових зоологічних спостережень до складного експозиційного дизайну та живопису.

Водночас ця історія містить серйозне застереження. Творчість у жорстких реаліях сьогодення, за умов соціальних катаклізмів та війни, стає вкрай ризикованою справою. Безмежно талановиті люди часто виявляються найбільш незахищеними перед зовнішніми потрясіннями, болісно переживаючи будь-які обмеження свободи самовираження. Типовою, на жаль, залишається і проблема адміністративного тиску: формалізм і грубість керівництва часто стають на заваді пасіонаріям, що в музейній практиці подекуди досі сприймається як «норма».

На щастя, значна частина «карадазького» та фактично весь «київський» етап діяльності Олега Борисовича пройшли в атмосфері повної підтримки з боку колег і керівників. У Зоологічному музеї Київського національного університету імені Тараса Шевченка він знайшов простір, де зміг органічно поєднати свою природну замкненість із професійною затребуваністю. Колеги без винятку цінували його як унікального фахівця і сьогодні щиро шкодують про його зовсім неочікуваний для них вихід майстра з музейної сфери. Нині Олег Співаков повністю присвятив себе іншим напрямкам діяльності, повною мірою реалізуючи свою громадянську позицію в умовах триваючої війни. Колись стане відомо більше. Цей же нарис фактично охоплює весь творчий шлях колеги, який обірвала війна, проте результати якого залишилися в експозиціях музеїв і приватних зібраннях, прикрашаючи їх і зберігаючи добру пам'ять про неймовірно талановитого митця.

Подяки

Дякуємо своїм колегам-музейникам Л. Прокопчук та Ж. Розорі за уточнення низки деталей щодо роботи О. Співакова в ЗМКУ та Д. Михаленку за сприяння в пошуку контактів з його рідними. Дякуємо Д. Лазареву за сприяння у доступі до даних із важкодоступних сайтів та С. Тайковій за вивірку наукових та українських назв птахів. Наша подяка авторам фото І. Костюку, С. Гаснікову та кореспонденту «Крим.Реалії». Окрема дяка рецензентам та редакторам за корисні зауваження і важливі правки тексту.

Література / References

- Бескаравайний М. М., Співаков О. Б. (1993). Розмноження пірникози чорношиї в Криму. *Вісник зоології*, 4, 77. [Beskaravayny M. M., Spivakov O. B. (1993). Breeding of the black-necked grebe in Crimea. *Vestnik Zoologii*, 4, 77]. [In Ukrainian]
- Бескаравайний М. М. (1985). Нова знахідка *Pipistrellus kuhli* в Криму. *Вісник зоології*, (1): 82–83. [Beskaravayny M. M. (1985). A new find of *Pipistrellus kuhli* in the Crimea. *Vestnik Zoologii*, (1): 82–83]. [In Ukrainian]
- Бескаравайний М. М. (1996). Нові дані про рідкісні та маловивчені види птахів південно-східного Криму. *Вісник зоології*, 3, 71–72. [Beskaravayny M. M. (1996). New data on rare and little-studied bird species of southeastern Crimea. *Vestnik zoologii*, 3, 71–72]. [In Ukrainian]
- Бескаравайний М. М. (2001). Сучасний стан та деякі тенденції в динаміці популяції рідкісних видів птахів південно-східного Криму. *Беркут*, 10 (2), 125–139. [Beskaravayny M. M. (2001). Current state and some trends in the population dynamics of rare bird species of southeastern Crimea. *Berkut*, 10 (2), 125–139]. [In Ukrainian]
- Бескаравайний М. М., Костін С. Ю., Співаков О. Б., Розенберг О. Г. (2001). Нові дані про деяких рідкісних і маловивчених птахів Криму. Бранта: Збірник наукових праць, 4, 123–124. [Beskaravayny M. M., Kostin S. Y., Spivakov O. B., Rosenberg O. G. (2001). New data on some rare and little-studied birds of Crimea. *Branta: Collection of scientific papers*, 4, 123–124]. [In Ukrainian]
- Біляшівський М. М. (2012). Зоологічний музей Національного університету імені Тараса Шевченка як культурний феномен України. У кн.: *Університетські музеї: європейський досвід і українська практика. Збірник праць наукової конференції*. Ніжин, 39–52. [Biliashivskiy M. M. (2012). Zoological Museum of National Kyiv's Taras Shevchenko University as a cultural phenomenon of Ukraine. In:

- University Museums: European Experience and Ukrainian Practice*. Collection of Works of Scientific Conference. Nizhyn, 39–52. [In Ukrainian]
- Дідуленко А. І., Співаков О. Б. (2001). *Кара-Даг. Тваринний світ. Випуск 1*. Бізнес-Інформ, Сімферополь, 1–24. [Didulenko A. I., Spivakov O. B. (2001). *Kara-Dag. Animal World. Issue 1*. Business-Inform, Simferopol, 1–24]. [In Ukrainian]
- Дулицький А. І., Коваленко І. С. (2004). Матеріали про кажанів Криму в зоологічних колекціях. *Проблеми розвитку Криму*, 15, 197–210. [Dulitskiy A. I., Kovalenko I. S. (2004). Materials on the bats of Crimea in the zoological collections. *Issues of the Development of Crimea*, 15, 197–210]. [In Ukrainian]
- Євстаф'єв І. (2024). Зоологічні експозиції природничих музеїв: класичне виконання та сучасний підхід. *Theriologia Ukrainica*, 28, 201–224. [Evstafiev I. (2024). Zoological exhibitions in natural history museums: classic design and modern approach. *Theriologia Ukrainica*, 28, 201–224]. [In Ukrainian] <https://doi.org/10.53452/TU2817>
- Загороднюк І. (2022). Зоологічні музеї та теріологічні колекції в Києві останніх двох століть: історія, цінності, перспективи. *Geo&Bio*, 22, 37–62. [Zagorodniuk, I. (2022). Zoological museums and mammal collections in Kyiv for the last two centuries: history, values, and prospects. *Geo&Bio*, 22, 37–62]. [In Ukrainian] <https://doi.org/10.15407/gb2205>
- Загороднюк І., Харчук С., Улюра Є., [та ін.]. (2022). Колекції котових (Felidae) у природничих музеях України та їх значення у поширенні природничих знань. *GEO&BIO*, 23, 15–52. <http://doi.org/10.15407/gb2304> [Zagorodniuk I., Kharchuk S., Ulyura E., [et al.]. (2022). Collections of felids (Felidae) in natural history museums of Ukraine and their importance in knowledge dissemination on nature. *GEO&BIO*, 23, 15–52.] [In Ukrainian] <https://doi.org/10.15407/gb2304>
- Кинда В. В., Бескаравайний М. М., Дядічева Е. А., [та ін.]. (2003). Огляд рідкісних, маловивчених та кочових видів птахів ряду горобцеподібних (Passeriformes) у Криму. *Бранта: Збірник наукових праць Азово-Чорноморської орнітологічної станції*, 6, 25–58. [Kinda V. V., Beskaravayny M. M., Dyadicheva E. A., [et al.]. (2003). Revision of rare, little-studied, and vagrant passerine (Passeriformes) bird species in Crimea. *Branta: Collection of scientific papers of the Azov-Black Sea Ornithological Station*, 6, 25–58]. [In Ukrainian]
- Кинда В. В., Бескаравайний М. М., Дядічева Е. А., [та ін.]. (2006). Просторовий розподіл і чисельність куликів взимку в Азово-Чорноморському регіоні. *Бранта: Збірник наукових праць Азово-Чорноморської орнітологічної станції*, 9, 150–183. [Kinda V. V., Beskaravayny M. M., Dyadicheva E. A., [et al.]. (2006). Spatial distribution and number of waders during winter in the Azov-Black Sea region. *Branta: Collection of scientific papers of the Azov-Black Sea Ornithological Station*, 9, 150–183]. [In Ukrainian]
- Михаленко Д. К. (2023). Зоолог Сергій Парамонов: Хомогенез — нова теорія еволюції (до 130-річчя від дня народження). *Geo&Bio*, 25, 202–226. [Mikhalenok D. K. (2023). Zoologist Sergiy Paramonov and his 'Chemogenesis — A New Theory of Evolution' (to the 130th anniversary of his birth). *Geo&Bio*, 25, 202–226]. [In Ukrainian] <https://doi.org/10.53452/gb2516>
- Михаленко Д. (2024). Стіна Лагоріо в Криму: сторінки наукової діяльності геолога Олександра Лагоріо. *Geo&Bio*, 26, 3–31. [Mikhalenok D. (2024). Lagorio's Wall in the Crimea: pages of scientific activity of the geologist Oleksandr Lagorio. *Geo&Bio*, 26, 3–31]. [In Ukrainian] <https://doi.org/10.53452/gb2603>
- Морозова А. Л. (ред.). (2007). *Путівник по заповіднику Карадаг. Довідник*. Збірник статей. СОНАТ, Сімферополь, 1–320. [Morozova A. L. (ed.). (2007). *Guidebook to the Karadag Nature Reserve. Essay-guidebook*. Collection of articles. SONAT, Simferopol, 1–320]. [In Ukrainian]
- Пекло А. М. (1997). *Птахи. Випуск 2. Non-Passeriformes (Charadriiformes, Piciformes)*. Зоологічний музей НМГМ, НАН України, Київ, 1–235. [Peklo A. M. (1997). *Birds. Issue 2. Non-Passeriformes (Charadriiformes, Piciformes)*. Zoological Museum of NMNH, NAS of Ukraine, Kyiv, 1–235.] [In Ukrainian]
- Писанець Є. М. (2009). Зоологічні музеї: їх роль у науці та освіті. У кн.: *Природничі музеологія: теорія і практика*. Київ, 14–17. [Pysanets Y. M. (2009). Zoological museums: their role in science and education. In: *Natural History Museology: Theory and Practice*. Kyiv, 14–17]. [In Ukrainian]
- Скляр А. (2014). Фауна музею Карадаг (фоторепортаж). В: *Кафа. Новини Феодосії (веб-сайт)*. [Skliar A. (2014). Fauna of the Karadag Museum (photo report). In: *Kafa. News of Feodosia (website)*]. [In Ukrainian]
- Співаков О. Б., Бескаравайний М. М., Потапенко І. Л. (2005). Природний заповідник «Карадаг». В кн.: *Літопис природи*, т. XXII. СОНАТ, Сімферополь, 300–309. [Spivakov O. B., Beskaravayny M. M., Potapenko I. L. (2005). Karadag Museum of Nature. In: *Chronicle of Nature*, Vol. XXII. SONAT, Simferopol, 300–309]. [In Ukrainian]
- Співаков О. Б., Казарян П. В. (2007). Новий метод виготовлення штучних очей у таксидермічній роботі. Новини Фонду музею ім. А. А. Браунера, 4 (2-3), 66–67. [Spivakov O. B., Kazarian P. V. (2007). New method for making artificial eyes in taxidermy work. *News of the A. A. Brauner Museum Fund*, 4 (2-3), 66–67.] [In Ukrainian]
- Співаков О. Б., Потапенко І. Л. (2007). Обладнання та оформлення експозиційних вітрин у Карадазькому музеї природи. Вісті Фонду музею ім. А. А. Браунера, 4 (2-3), 67–68. [Spivakov O. B.,

- Potapenko I. L. (2007). Equipment and design of exhibition cases in the Karadag Museum of Nature. *News of the A. A. Brauner Museum Fund*, 4 (2-3), 67–68. [In Ukrainian]
- Цвелих О.М., Аппак Б.А., Бескаравайний М.М., [та ін.]. (2018). *Грифові птахи фауни України*. Фітосоціоцентр, Київ, 1–188. [Tsvelykh A. N., Appak B. A., Beskaravaunyu M. M., [et al.]. (2018). *Vultures in the Fauna of Ukraine*. Fitosotsiotsentr, Kyiv, 1–188]. [In Ukrainian]
- Шидловський І. В. (2012). Історія музейної справи та зоологічних музеїв університетів України. За ред. Й. В. Царика. ЛНУ імені Івана Франка, Львів, 1–112. [Shydlovskyy I. V. (2012). *History of Museology and Zoological Museums of Universities of Ukraine*. Ed. by Y. V. Tsaryk. LNU named after Ivan Franko, Lviv, 1–112]. [In Ukrainian]
- Quinn S. C. (2006). *Windows on Nature: The Great Habitat Dioramas*. Abrams, New York, 1–180.
- Kabir A. (2017). Taxidermy: the art of preserving life beyond death. *International Journal of Fauna and Biological Studies*, 4 (4), 101–103.
- Space for Life. (2015). Taxidermy: an art in the service of education and conservation. [Electronic resource]

The phenomenon of Oleg Spivakov — taxidermist, artist, and museologist K. Hrininh-Hera, I. Zagorodniuk

Oleg Spivakov is one of the most notable Ukrainian taxidermists of the late 20th and early 21st centuries, an artist, and a museum professional. Based on biographical data and an analysis of museum collections, this text highlights the formation of his unique signature style, which combines scientific accuracy with high artistic craftsmanship. A graduate of Taurida University, Oleg dedicated his life to the development of natural history museums: first, to the restoration the Museum of Nature and History of Karadag at the Karadag biostation (1982–2008), and later, to Zoological Museum of Taras Shevchenko National University in Kyiv (2009–2021). The master was virtuoso in the techniques of creating taxidermy sculptures across diverse taxonomic groups—from fish and amphibians to birds and mammals—and his works now grace countless state and private collections. The "Crimean period" of Oleg Spivakov's career is analysed in detail, the key achievement of which was the revival of the Museum of Nature and History of Karadag. (In fact, it was a creation "from scratch," as no exhibits from the old collection remained). The article describes his innovative approach to building the exhibition according to the biotopic principle, where the author created over 400 specimens covering about 200 species of vertebrates. Furthermore, Oleg Spivakov made a significant contribution to the study of the Crimean fauna, particularly through the records of rare bird and mammal species that have entered scientific circulation. Special attention is paid to the 'Kyiv period', marked by the creation of taxidermy sculptures of fish, amphibians, and mammals. His role in the restoration of old collection specimens in the exhibition of the Zoological Museum of Kyiv University (ZMKU) is also characterised. Oleg Spivakov's creative heritage in taxidermy represents a significant contribution to national museology, particularly in the formation and restoration of zoological exhibitions. His legacy is not limited to museum halls: the master's works constitute a significant part of numerous private collections, where they are valued as unique pieces of art. The master's works are distinguished by an exceptionally high artistic level, which effectively grants them the status of works of art.

Key words: *taxidermy, zoological museums, Kyiv University, Karadag biostation, Ukraine*

Cite this article: Hrininh-Hera K., Zagorodniuk I. *The phenomenon of Oleg Spivakov — taxidermist, artist, and museologist. The Journal of V. N. Karazin Kharkiv National University. Series Biology, 2026, 46, 54–69.* <https://doi.org/10.26565/2075-5457-2026-46-5> (In Ukrainian)

About the authors:

Hrininh-Hera K. — National University of Food Technologies; 68 Volodymyrska Street, Kyiv, Ukraine, 01033, neackriss@gmail.com; <https://orcid.org/0009-0003-3927-7672>
Zagorodniuk I. — Institute for evolutionary ecology, National Academy of Sciences of Ukraine, 37 Lebedeva Street, Kyiv, Ukraine, 03143, zoozag@ukr.net, <https://orcid.org/0000-0002-0523-133X>

Authors contribution: All authors have contributed equally to this work. / **Внесок авторів:** Усі автори зробили рівнозначний внесок у підготовку цієї роботи.

Conflict of interest: The authors declare no conflict of interest. / **Конфлікт інтересів:** Автори заявляють про відсутність конфлікту інтересів.

Use of Artificial Intelligence: The authors certify that no generative artificial intelligence tools were used in the conduct of the research or in the preparation of this manuscript. / **Використання штучного інтелекту:** Автори засвідчують, що під час проведення дослідження та підготовки цього рукопису генеративний штучний інтелект не використовувався.

Received: 06.03.2026 / Revised: 24.04.2026 / Accepted: 25.05.2026 / Published: 31.05.2026

DOI: <https://doi.org/10.26565/2075-5457-2026-46-6>
UDC: 598:069.5(477)

Ornithological collections from the time of the First and Second World Wars at the National Museum of Natural History, National Academy of Sciences of Ukraine S. Tajkova

This study investigates the formation, preservation, and transformation of the ornithological collection of the National Museum of Natural History of the National Academy of Sciences of Ukraine (NMNH) during the First (1914–1918) and Second (1939–1945) World Wars. Based on the analysis of historical sources, inventory books, collection catalogues, and specimen labels, the pathways of accession were reconstructed, the specific features of scientific activity under conditions of social upheaval were identified, and the scientific, cultural, and conservation value of the materials was assessed. The object of the study was the ornithological collection of the NMNH, which comprises more than 40 000 storage units, including study-skins, egg clutches, and exhibited skin-mounts. More than 700 specimens collected during wartime were examined, with detailed breakdowns by year, region, collector, and taxonomic composition. Particular attention was paid to Kyiv Oblast—the only region represented in the collections by a sufficient number of specimens from both wartime periods. In 1919–1933, despite the absence of the museum as an institution, the collections were enriched mainly through donations of private collections and materials from other institutions; more than 89% of specimens originated from Kyiv Oblast and the Crimea. Specimens of 15 species currently listed in the Red Data Book of Ukraine were identified: *Anarhynchus alexandrinus* (3), *Falco naumanni* (2), *Milvus migrans* (2), *Grus virgo* (1), *Asio flammeus* (1), *Bubo bubo* (1), *Circus macrourus* (1), *Glareola nordmanni* (1), *Haematopus ostralegus* (1), *Lanius excubitor* (1), *Podiceps grisegena* (1), *Recurvirostra avosetta* (1), *Pastor roseus* (1), *Tetrao urogallus* (1), and *Tetrastes bonasia* (1). During the Second World War, museum activity was uneven: the peak of collections occurred in 1939–1940, followed by a sharp decline. In total, the collections were enriched with 364 specimens, of which 257 originated from Ukraine, mainly from Kyiv Oblast. Among these gatherings, specimens of 17 species listed in the Red Data Book of Ukraine were identified: *Numenius arquata* (3), *Picus viridis* (3), *Circus cyaneus* (2), *Grus virgo* (1), *Clanga clanga* (1), *Bucephala clangula* (1), *Alaudala rufescens* (1), *Dendrocopos leucotos* (1), *Haematopus ostralegus* (1), *Limosa limosa* (1), *Milvus migrans* (1), *Netta rufina* (1), *Recurvirostra avosetta* (1), *Branta ruficollis* (1), *Sternula albifrons* (1), *Strix uralensis* (1), and *Tringa stagnatilis* (1).

Key words: ornithological collections, world wars, protected birds, National Museum of Natural History

Cite this article: Tajkova S. Ornithological collections from the time of the First and Second World Wars at the National Museum of Natural History, National Academy of Sciences of Ukraine. *The Journal of V. N. Karazin Kharkiv National University. Series "Biology"*, 2026, 46, 70–81. <https://doi.org/10.26565/2075-5457-2026-46-6>

About the author:

Tajkova S. – The National Museum of Natural History at the National Academy of Sciences of Ukraine, Bohdan Khmelnytsky st., 15, Kyiv, Ukraine, 01030, tajkovaveta@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0001-9037-6471>

Подано до редакції: 15.03.2026 / Прорецензовано: 29.04.2026 / Прийнято до друку: 25.05.2026 / Опубліковано: 31.05.2026

Introduction

When working with archival records, card catalogues, and specimens of the ornithological collection of the National Museum of Natural History, NAS of Ukraine (NMNH), questions inevitably arise about the researcher who worked on the assembly of the collection. What were the conditions, the motivation, the inner state of these people? Behind each specimen lies not only a piece of biological information, but a personal history—routes, choices, risks, and sometimes silence in which a scientific answer was born. Particularly revealing is the fact that a large part of the specimens was collected in periods of large-scale wars, when the very possibility of scientific work was under tremendous threat. Nonetheless, researchers continued to collect, to describe, and to preserve (Ulyanovsky, 2014; Zagorodniuk, 2022 a; Tajkova, Klochko, 2025). Among them were P. K. Vereshchak, G. S. Kochubey, M. L. Shcherbyna, M. P. Rozanov, E. L. Sviderskyi, V. G. Averin, S. Ya. Paramonov, M. V. Charlemagne, P. P. Orvol, V. A. Antonovych, and Kryvkovych (Karavaev, 1926; Zagorodniuk, 2022 b–c, 2023; Mikhalenok, 2023; Shevchenko, Zagorodniuk, 2025).

The world wars in 1914–1918 and 1939–1945 deeply affected the scientific, cultural, and natural history heritage of not only Kyiv and Kyiv Oblast, but all regions of Ukraine. Yet at the beginning of the First World War, the territories of the modern Lviv, Ivano-Frankivsk, Ternopil, Chernivtsi, Rivne, and Volyn oblasts, as well as part of central Ukraine became active combat zones, which greatly complicated the functioning of scientific institutions and museums. In particular, the Ternopil Museum of Local Lore was

closed and part of its collections were either lost or stolen. The departments and laboratories of the Chernivtsi University also suffered significant losses. At the same time, the scientific collections of the Zoological Museum of Taras Shevchenko National University of Kyiv had been timely evacuated, which prevented their destruction or looting, although active hostilities were not taking place directly in Kyiv at that time (Shydlovsky, 2012; Botushanskyi, 2017).

The Second World War, encompassing all of modern Ukraine, caused even more serious destruction: resources were lost, infrastructure was destroyed, and museum collections suffered significant losses. The exhibition of the Zoological Museum of Ivan Franko National University of Lviv was treated barbarically, which led to losses of specimens and a large number of labels. The Zoological Museum of Taras Shevchenko National University of Kyiv had not been evacuated this time and in 1943 was seriously damaged by fire that occurred in its main building. The zoological collections of the Chernivtsi University were transported to Romania, whereas most specimens in the Nizhyn State Pedagogical University were lost. In 1942, all universities, institutes, and museums were closed. The ornithological collections, similarly to other natural history collections, were robbed or evacuated, and part of the unique materials were either destroyed or lost (Shydlovsky, 2012; Klymyshyn, Shydlovsky, 2014; Zagorodniuk, 2022).

Today, under conditions of another war, the museums of Ukraine are facing the threat of losing their collections again. The war has already caused large-scale destruction, evacuation, looting, and devastation of Ukraine's cultural heritage. The situation calls for a study the past—to preserve heritage, to reconsider historical lessons, and to develop action strategies in the current reality.

The inventory of museum collections allows not only analysing specimens, but also reading old labels as 'encrypted' messages from the past—about collecting conditions, routes, research priorities, and personal histories. It is not only a technical process, but an act of interpretation and restoration of cultural memory.

The aim of this study was to trace the history of formation, preservation, and transformation of the ornithological collection of the National Museum of Natural History, NAS of Ukraine during the events of the two world wars, as well as to identify the scientific and cultural value of specimens that were collected, transferred, or lost in the times of historical upheavals.

The paper is a continuation of a cycle of publications (Tajkova, Klochko, 2025; Tajkova, 2025; Tajkova, Gavris, 2025) and conference materials devoted to the scientific ornithological collection of the museum and its researchers and curators, particularly M. V. Charlemagne, V. O. Karavaev, O. B. Kistyakivskyi, and O. O. Brauner, who made a significant contribution to its formation and preservation.

Materials and Methods

The study was initiated in the process of revising M. V. Charlemagne's ornithological collection of the National Museum of Natural History, NAS of Ukraine (NMNH) (Tajkova, Klochko, 2025). A deeper interest of the issue appeared, particularly of how war impacts science and how museum collections, despite historical upheavals, continue to be preserved and telling their secrets.

The analysis covers specimens collected during the First (1914–1948) and the Second (1939–1945) World Wars. Materials from Kyiv Oblast were selected for comparison, which are the most representative and most comparable for both periods. Specimens from other regions, which make up a sample insufficient for comparisons, were also included in the discussion.

The list of specimens of species included in the Red Data Book of Ukraine is presented with full label data, including date, record locality, collector's name, and inventory number. The term 'protected species' is used in a national context, i.e. concerns only species that are officially listed in the state registry of rare and endangered animals that require protection in the territory of Ukraine.

Species lists were compiled using Latin names according to the latest ornithological systematics (Gill et al., 2021). The terms 'storage unit' (s.u.), 'collection specimen' and 'specimen' (spec.) are used synonymously.

Results

The ornithological collection of the NMNH has been forming since the museum's establishment and currently is the largest by the number of storage units and taxonomic scope among similar museums of Ukraine. The total number of specimens exceeds 40 000 s.u. and comprises study-skins (36 528 s.u.), egg clutches (2998 s.u.), and exhibited skin-mounts (1449 s.u.). Specimens of over 950 species are present ensuring a significant taxonomic representativeness of the collection (Barabanova et al., 2019).

Due to its volume, structural diversity, and scientific value, the ornithological collection of the NMNH is a unique data source for research—historical, museological, and zoological, as well as for updating knowledge about biodiversity in the context of long-term monitoring and retrospective analysis of the fauna of Ukraine.

Ornithological collections of the period of the First World War (1914–1918)

Despite the difficult socio-political circumstances caused by the First World War, ornithologists continued working in the field and collecting research materials. Although the NMNH had not been officially established yet, we analysed how the ornithological collections it houses were formed in this period and traced the routes of specimens to the future museum collections.

When the museum started to function, many scientists donated their own collections that were amassed yet in the 19th and in the early 20th centuries. Among those donors were O. A. Shummer, V. Yu. Gerhner, P. K. Vereshchak, G. S. Kochubey, M. V. Charlemagne and other researchers whose contribution became the basis of the ornithological collection. Materials were also donated by hunters, enthusiasts, various museums, societies, and biological rooms. In 1921, the museum received 921 study-skins previously housed in the 'Proletarian Museum', which until 1917 operated as the 'Pedagogical Museum' (Tajkova, Klochko, 2019). Now this building is known as the 'Teacher's House' (Volodymyrska Street, Kyiv).

The Pedagogical Museum had natural history rooms housing lots of specimens of plants, animals, and minerals (Zagorodniuk, 2016). In 1926, the large collection of the K. Kessler Ornithological Society comprising 5236 study-skins was transferred to the NMNH (Tajkova, Klochko, 2019).

According to the collection journals, in subsequent years the NMNH received materials collected during the war in territories that are now parts of different countries. These specimens originate from Ukraine (333 s.u.), Russia (249), Azerbaijan (22), Moldova (4), Georgia (1), as well as from beyond Eurasia, particularly Canada (2), Iceland (1), and Ethiopia (1). This geographic scope indicates that Ukrainian ornithologists actively participated in international scientific cooperation even during the war.

Special attention must be paid to specimens collected in the territory of modern Ukraine in 1914–1918. Their total number is 331 s.u., which allows tracing the dynamics of ornithological activities under wartime conditions. Most specimens come from 1914, and their number decreased in following years (fig. 1). This tendency likely reflects the gradual complication of conditions for field research due to the military events in the country.

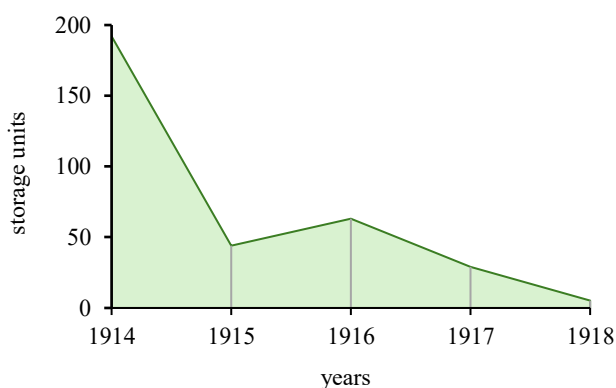


Fig. 1. The enrichment of the ornithological collection with specimens from Ukraine during the First World War (1914–1918)

The geographic scope of the collection covers several regions of modern Ukraine. Most specimens came from Kyiv Oblast (59.2%) and the Crimea (30.0%), together accounting for 89.2% of the materials. Less represented are other regions, such as Volyn (2.7%), Kherson (2.4%), Zhytomyr (1.8%), Poltava (1.5%), Kharkiv (0.9%), Odesa (0.3%), Chernihiv (0.3%), and Chernivtsi (0.3%) oblasts. More detailed information is presented in table 1. The geographic distribution of collecting may reflect both the accessibility of territories for field research and the presence of active collectors in particular regions.

Table 1. Regional distribution of specimen collected in the territory of Ukraine during the First (1914–1918) and Second (1939–1945) World Wars

Oblast	1914	1915	1916	1917	1918	Σ	1939	1940	1941	1943	1945	Σ	Σ
Volyn	9					9							9
Dnipropetrovsk											2	2	2
Donetsk											1	1	1
Zhytomyr			6			6		1				1	7
Zaporizhzhia							91	19				110	110
Ivano-Frankivsk								14				14	14
Kyiv	141	16	38		2	197	56	26	11	12	1	106	303
Crimea	35	27	18	20		100							100
Lviv								16				16	16
Mykolaiv							1					1	1
Odesa				1		1							1
Poltava	4	1				5							5
Kharkiv					3	3							3
Kherson	2		1	5		8	6					6	14
Chernivtsi				1		1							1
Chernihiv	1					1							1
Σ	192	44	63	27	5	331	154	76	11	12	4	257	588

Among the most active collectors of this period were P. K. Vereshchak (118 s.u.), G. S. Kochubey (40), M. L. Shcherbyna (38), M. P. Rozanov (10), and E. L. Sviderskyi (8). Additionally, the names of the collectors of 23 specimens remain unknown, likely due to the incompleteness of archival records. It is rather common when specimen labels or accompanying documents contain only general notes such as 'I'll provide detailed information later', which, unfortunately, were not fulfilled. An even more frequent case is when the label contains only a working ID number given by the collector, while information on date, locality, and the collector's identity was recorded in the field diaries, which were not handed over along with the specimens. Such cases complicate the attribution of materials and require additional archival searches or comparisons with other sources. Similar situations characterise collecting in the field in difficult historical times, when the systematisation of materials gave way to more urgent circumstances.

Of the analysed specimens collected during the First World War, representatives of 15 species that are listed in the Red Data Book of Ukraine were discovered (fig. 2). Their presence in the museum collection indicates that rare species have historically been present in the territory of Ukraine and allows conducting a comparative analysis of changes in faunal distributions. A detailed list of species is presented in table 2, while full label data of these materials are given at the end of this section. The presence of these specimens in the museum collection allows for a retrospective analysis to be conducted concerning the state of populations, changes in species ranges, and general biodiversity dynamics. It is especially relevant in the context of modern ecological challenges, when historical data become an important source to estimate the effectiveness of conservation measures.

- 12879/2, *Tetrao urogallus*, ♀, 31.03.1916, Olevsk, Zhytomyr Oblast, M. L. Shcherbyna
 10511/4, *Tetrastes bonasia*, ♂, 01.04.1916, Olevsk, Zhytomyr Oblast, M. L. Shcherbyna
 12813/32, *Milvus migrans*, ♂, 30.04.1916, Muromets Island, Kyiv Oblast, M. L. Shcherbyna
 12818/37, *Milvus migrans*, ♀, 08.05.1916, Pushcha-Vodytsia, Kyiv Oblast, M. L. Shcherbyna
 6909/18, *Haematopus ostralegus*, juv., 23.07.1915, Kobeliaky Raion, Poltava Oblast, P. I. Bauman
 18348/61, *Lanius excubitor*, ♀, 22.03.1917, Askania-Nova Reserve, Kherson Oblast, leg. ?
 19050/17, *Podiceps griseigena*, 08.1914, Simferopol, Crimea, Sushkin
 18948/69, *Circus macrourus*, 16.05.1915, nearby to Sabla, Crimea, leg. ?
 18914/22, *Falco naumanni*, ♂, 18.05.1914, Perekop, Crimea, leg. ?
 18915/23, *Falco naumanni*, ♀, 28.05.1915, Yevpatoria, Crimea, leg. ?
 26552/7, *Grus virgo*, ♂, 22.05.1915, Kambar, Crimea, leg. ?
 19328/41, *Anarhynchus alexandrinus*, 18.05.1914, Syvash Bay, Crimea, leg. ?
 19329/42, *Anarhynchus alexandrinus*, 28.05.1915, sandbar at Saky, Crimea, leg. ?
 19330/43, *Anarhynchus alexandrinus*, 28.05.1915, sandbar at Saky, Crimea, leg. ?
 19253/25, *Recurvirostra avosetta*, 28.05.1915, sandbar at Saky and Yevpatoria, Crimea, leg. ?
 19281/31, *Glareola nordmanni*, 30.05.1914, Syvash Bay, Crimea, leg. ?
 18871/5, *Bubo bubo*, pull, 30. 04. 1916, nearby to Yany-Sarabuz, Crimea, B. M. Strongin
 18878/76, *Asio flammeus*, 20.09.1914, nearby to Simferopol, Crimea, leg. ?



Fig. 2. Collection specimens of *Haematopus ostralegus* collected in the years 1915 and 1939, and their original labels

Ornithological collections of the period of the Second World War (1939–1945)

In the territory of modern Ukraine, the Second World War began in 1939, which marks the starting point of our analysis of ornithological materials collected during this period. Despite the extremely hard circumstances, museum collections continued to be enriched with new acquisitions indicating that research activity went on even during this global military conflict.

In 1939–1945, a total of 364 bird specimens were included in the NMNH collection. Most of them came from the territory of Ukraine—257 s.u., which make up over 70% of its total scope. Also, many specimens came from Russia (71 s.u.) and Uzbekistan (28), and a lesser amount from Bulgaria (2), Turkmenistan (2), Belarus (1), Kazakhstan (1), Poland (1), and the USA (1). This geographic diversity suggests broad scientific connections and the mobility of particular researchers, even in the period of global unrest.

An analysis of the accession dynamics during the Second World War revealed that most specimens were collected in 1939, which is likely due to the active pre-war expeditions. Beginning from 1941, the number of specimens notably decreased and in 1944 no specimens were collected. The latest recorded acquisitions are dated to June 1941, particularly the specimen No. 16160/190, *Coloeus monedula*, ♂, collected on 02.06.1941 in Kyiv, on Trukhaniv Island of the Dniro River by V. A. Antonovych (fig. 3).

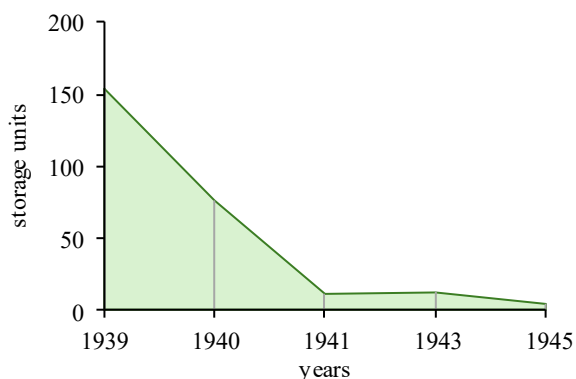


Fig. 3. The enrichment of the ornithological collection with specimens from Ukraine during the Second World War (1939–1945)

The total number of ornithological materials collected during the Second World War (1939–1945) in the territory of modern Ukraine is 255 s.u. The geographic distribution of the specimens demonstrates that collecting mainly took place in two regions, in Zaporizhzhia (43.1%) and Kyiv oblasts (41.6%), which together make up 84.7% of the materials acquired in this period. Less represented are Lviv (6.3%), Ivano-Frankivsk (5.5%), Kherson (2.4%), Dnipropetrovsk (0.4%), Donetsk (0.4%), Zhytomyr (0.4%), and Mykolaiv (0.4%) oblasts. Detailed information on the annual acquisition dynamics between 1939 and 1945 is presented in table 1. Chronological analysis showed that most specimens were collected before 1941, i.e. in pre-war and early-war times. Some specimens were collected during occupation and were preserved thanks to the work of the museum staff during Kyiv's de-occupation. These materials have particular historical value for they reflect not only biological diversity, but the conditions under which scientific institutions operated in the difficult times of war.

Most specimens in 1939–1945 were collected by V. F. Nikolaev (80 spec.), V. A. Antonovych (45), B. M. Popov (41), S. D. Lubkin (15), Kryvkovych (11), M. V. Charlemagne (8), P. V. Olshanskyi (6), I. Bozhovych (5), V. Kozhevnikov (4), and L. A. Przhebylskyi (4). Additionally, 21 specimens were collected by people whose identity remains unknown.

Of these wartime specimens, 28 have scientific and historical value; they were collected by P. P. Orlov in Uzbekistan in 1942–1944, when he was working in a unit battling *Pseudococcus comstocki* (Orlov, 1948; Gavryliuk, 1995). Thanks to him, the collections were enriched with specimens of *Parus major bokharensis*, *Emberiza bruniceps*, *Alauda gulgula*, *Lanius isabellinus*, *Lanius schach*, *Tichodroma muraria* and other species. In 1944, he returned to Ukraine (Gavryliuk, 1995) and collected materials in Dnipropetrovsk Oblast (*Merops apiaster*, *Aegithalos caudatus*). In the same year, specimens collected by Ye. A. Moshkov and G. V. Modin also appeared, indicating that museum work resumed following the cease of hostilities.

Of the analysed specimens collected during the Second World War, there are those that belong to 17 species listed in the Red Data Book of Ukraine (table 2). Their full label data are presented at the end of this section.

Table 2. Specimens of bird species listed in the Red Data Book of Ukraine collected during the First (1914–1918) and Second (1939–1945) World Wars and housed in the NMNH collections

Species	1914–1918	1939–1945	Σ	Species	1914–1918	1939–1945	Σ
<i>Alauda rufescens</i>	–	1	1	<i>Lanius excubitor</i>	1	–	1
<i>Anarhynchus alexandrinus</i>	3	–	3	<i>Limosa limosa</i>	–	1	1
<i>Asio flammeus</i>	1	–	1	<i>Milvus migrans</i>	2	1	3
<i>Branta ruficollis</i>	–	1	1	<i>Netta rufina</i>	–	1	1
<i>Bubo bubo</i>	1	–	1	<i>Numenius arquata</i>	–	3	3
<i>Bucephala clangula</i>	–	1	1	<i>Pastor roseus</i>	1	–	1
<i>Circus cyaneus</i>	–	2	2	<i>Picus viridis</i>	–	3	3
<i>Circus macrourus</i>	1	–	1	<i>Podiceps grisegena</i>	1	–	1
<i>Clanga clanga</i>	–	1	1	<i>Recurvirostra avosetta</i>	1	1	2
<i>Dendrocopos leucotos</i>	–	1	1	<i>Sternula albifrons</i>	–	1	1
<i>Falco naumanni</i>	2	–	2	<i>Strix uralensis</i>	–	1	1
<i>Glareola nordmanni</i>	1	–	1	<i>Tetrao urogallus</i>	1	–	1
<i>Grus virgo</i>	1	1	2	<i>Tetrastes bonasia</i>	1	–	1
<i>Haematopus ostralegus</i>	1	1	2	<i>Tringa stagnatilis</i>	–	1	1

- 15919/5, *Strix uralensis*, ♀, 14.10.1940, Ilemnia, Ivano-Frankivsk Oblast, B. M. Popov
 16157/8, *Limosa limosa*, ♂, 30.05.1941, Trukhaniv Island, Kyiv, Kyiv Oblast, V. A. Antonovych
 15794/42, *Sternula albifrons*, ♂, 06.05.1939, Kyiv, Kyiv Oblast, S. D. Lubkin
 Експозиція, *Picus viridis*, ♂, 30.04.1939, Spartak station, Kyiv Oblast, leg. ?
 15853/33, *Picus viridis*, ♂, juv, 08.1939, forestry, Nyzhcha Dubechnia, Kyiv Oblast, B. M. Popov
 15896/35, *Picus viridis*, ♂, juv, 17.08.1940, Nyzhcha Dubechnia, Kyiv Oblast, B. M. Popov
 15819/58, *Dendrocopos leucotos*, ♀, 05.08.1939, Svamoria, Kyiv Oblast, B. M. Popov
 15802/51, *Milvus migrans*, ♂, 09.06.1939, mouth of the Irpin River, Kyiv Oblast, V. A. Antonovych
 15762/23, *Circus cyaneus*, ♂, 06.04.1939, forest, Brovary, Kyiv Oblast, S. D. Lubkin
 15937/2, *Branta ruficollis*, ♂, 16.10.1939, nearby to Berdiansk, Zaporizhzhia Oblast, V. F. Nikolaev
 15938/7, *Netta rufina*, ♂, 20.10.1939, Obtichna Spit, Zaporizhzhia Oblast, V. F. Nikolaev
 15922/25, *Bucephala clangula*, ♂, 13.08.1939, Solodkyi Estuary, Zaporizhzhia Oblast, I. Bozhovych
 15944/20, *Circus cyaneus*, ♂, 15.01.1940, nearby to Berdiansk, Zaporizhzhia Oblast, V. F. Nikolaev
 15920/16, *Clanga clanga*, ♂, 06.10.1939, Berdiansk, Zaporizhzhia Oblast, P. V. Olshanskyi

38856/2, *Grus virgo*, ♀, 25.04.1939, Berdiansk, Zaporizhzhia Oblast, V. F. Nikolaev
15932/32, *Haematopus ostralegus*, juv, 20.08.1939, Solodkyi Estuary, Zaporizhzhia Oblast, I. Bozhovych
15960/26, *Tringa stagnatilis*, ♀, 23.08.1939, Berdiansk, Zaporizhzhia Oblast, V. F. Nikolaev
15939/29, *Numenius arquata*, ♀, 25.04.1939, Berdiansk, Zaporizhzhia Oblast, V. F. Nikolaev
15940/30, *Numenius arquata*, ♂, 25.04.1939, Berdiansk, Zaporizhzhia Oblast, V. F. Nikolaev
15941/33, *Numenius arquata*, ♀, 02.09.1939, Berdiansk, Zaporizhzhia Oblast, I. Bozhovych
16126/3, *Alaudala rufescens*, ♂, 24.11.1939, Berdiansk, Zaporizhzhia Oblast, V. F. Nikolaev
15856/34, *Recurvirostra avosetta*, 10.07.1939, Syvash Bay, Kherson Oblast, B. M. Popov

Discussion

Scientific activity during wartime has always been accompanied with an ambiguous perception by society. At different historical moments, scientists could be perceived as enemies, especially when their work took place in occupied territories or during political instability. At the same time, these same researchers often became examples of perseverance, professional dedication, and a deep belief in the value of scientific knowledge. Their work—often quiet and devoid of recognition—ensured the preservation of heritage, formed the foundations for future research, and allowed science to survive when everything else was collapsing.

A thorough study of collection materials allows not only to reconstruct the history of the collections, but also to trace how scientific activity and museum heritage were formed together, how collections are inextricably linked to the personal paths of the researchers. The materials collected during the wars reflect not only the state of the bird fauna of those times, but also the level of organisation of research work, the accessibility of territories, and the mobility of scientists.

Analysing the impact of the First and Second World Wars on the formation of the ornithological collection of the NMNH is difficult given the various ways of acquisition. In 1914–1918, the museum had not yet existed as an institution, and the specimens collected in that period were transferred to the museum later, in 1919–1933 (Tajkova, Klochko, 2019). It means that we deal with a retrospective material that was collected under different circumstances. At the same time, these specimens are an important data source in reconstructions of ornithological research that was conducted during the wars.

When comparing the quality of collections from the periods of the two world wars, notable differences were found. Most specimens collected during the First World War have detailed labels with measurements, live weight, and subspecies indicated. As the museum staff notes, ‘these are old school’, meaning that the specimens demonstrate a high level of preparation and attention to detail. In contrast, materials collected during the Second World War often come with minimum label information, occasionally with only a number written on a piece of paper of low-quality. Additional data are preserved only in card catalogues or field diaries, which complicates access to the full information.

These general observations are especially notable when analysing regional collections, particularly from Kyiv Oblast, which during both wars was characterised by a high research activity and a significant number of acquisitions. During the First World War, Kyiv Oblast remained beyond the zone of military operations, which allowed systematic studies to be carried out without restrictions. In 1914–1915, 157 specimens were collected, whereas in 1916 and 1948 another 40, mainly by P. K. Vereshchak, G. S. Kochubey, M. L. Shcherbyna, and S. D. Lubkin. Their collections represent over 60 bird species, with carefully documented record localities, dates, and morphometric parameters.

During the Second World War, despite the occupation of Kyiv and difficult circumstances, research activity did not cease fully. In 1939–1940, 360 specimens were collected, of which 83 in Kyiv Oblast. In 1941, collecting continued until June and resumed only in 1943, particularly thanks to M. V. Charlemagne and another researcher by the surname Kryvkovych. These data demonstrate a scientific resilience and the desire to preserve biological heritage even during occupation.

It should also be considered that the territory of Kyiv Oblast was not directly involved in hostilities during the First World War, which allowed scientific activities to continue without direct obstacles. However, during the Second World War, Kyiv was under occupation, and museum staff were under pressure, which is covered in detail in the memoirs and publications dedicated to M. V. Charlemagne and E. G. Reshetnyk (Ulyanovsky, 2014; Korobchenko, 2016; Tajkova, Klochko, 2025).

This complicates the assessment of the impact of military events on regional collections, but at the same time allows tracing the ways of museum acquisitions under relatively stable conditions. This approach cannot be generalised for the whole of Ukraine, but it allows identifying individual trends in the preservation of scientific heritage during periods of crisis.

As already noted above, the fighting of the First World War practically did not affect the territory of Kyiv Oblast region, which created favourable conditions for regular field research without significant obstacles. In 1914–1915, 157 bird specimens were collected, and monthly activity was recorded. The main

collectors of this period were P. K. Vereshchak (118 spec.) and G. S. Kochubey (35 spec.); some specimens were received without indicating the name of the collector (table 3).

Most specimens were collected by P. K. Vereshchak in the village of Danylivka, Fastiv Raion, as well as in Pushcha-Vodytsia and Zhornivka. G. S. Kochubey, a physician by profession, collected mainly in Pushcha-Vodytsia and in the outskirts of Kyiv, recording representatives of 15 species (see table 3).

In 1916 and 1918, the collection received another 40 specimens coming from Kyiv Oblast. Most of them were donated by M. L. Shcherbyna—35 specimens representing 18 species. In total, his contribution includes a personal ornithological collection donated to the museum in 1921 (350 study-skins) (Tajkova, Klochko, 2019). In addition, he actively collaborated with the Kyiv Ornithological Society, whose collection was later also integrated into the NMNH (Karavaev, 1926; Zagorodniuk, 2023) (see table 3).

Other researchers who contributed to the ornithological collection were S. D. Lubkin (nearby to Kyiv) and P. K. Vereshchak (on the Irpin River, in the village of Shevelivka). In 1917, no specimens were collected in Kyiv Oblast, which is probably due to political instability and a general decline in field activity (see table 3).

The materials collected during the Second World War (1939–1945) entered the NMNH collection unevenly, which reflects the difficult political and military situation in the territory of Ukraine. In 1939–1940, field collections were carried out in accordance with the usual annual plan of museum work: throughout 1939 (January–December) and from January to November in 1940. During this period, the collection was enriched with 360 specimens of 160 bird species. The most numerous are specimens of *Alauda arvensis* (12 spec.), *Emberiza schoeniclus* (11), *Passer montanus* (11), *Nucifraga caryocatactes* (10), *Sturnus vulgaris* (9), *Dendrocopos major* (8), and *Garrulus glandarius* (6). In Kyiv Oblast, 83 specimens of 49 species were collected during these two years.

After the outbreak of hostilities on 22 June 1941, field research was effectively suspended. In 1941, only 11 specimens were collected, the last of which on the 2nd of June on Trukhaniv Island in Kyiv—symbolically marking the completion of the pre-war phase of collections before the occupation of the city.

In 1943, after the partial resumption of scientific activity in occupied Kyiv, another 12 specimens were collected, one of them by M. V. Charlemagne (Tajkova, Klochko, 2025) and the rest by an unknown collector by the surname Kryvkovych. Despite the lack of biographical data on the latter, these specimens belong to a number of species and come from Kyiv and its surroundings, from March to July (table 4).

In the context of enriching the museum collection during the wars, one should not forget the difficult conditions under which scientists worked. It is known that during periods of famine and lack of resources, the meat of animals that later became museum specimens often served as a means of survival. Although there is little direct documentary evidence of this, according to senior museum staff who worked in the post-war decades, the use of meat from collection objects as a means of survival was a common practice. In this context, it cannot be ruled out that individual specimens collected in 1943 could have been obtained not only for scientific purposes, but also as a source of food.

Table 3. Ornithological collections from Kyiv Oblast (1914–1918): species composition, quantity, and collectors

Species	Collector					Σ
	P. K. Vereshchak	G. S. Kochubey	S. D. Lubkin	M. L. Shcherbyna	Unknown	
<i>Linaria cannabina</i>	2	1				3
<i>Acanthis flammea</i>	2			1		3
<i>Aegithalos caudatus</i>	3	1				4
<i>Alauda arvensis</i>	4			1		5
<i>Spatula querquedula</i>				2		2
<i>Anthus pratensis</i>	1					1
<i>Anthus trivialis</i>		1				1
<i>Carduelis carduelis</i>					1	1
<i>Certhia familiaris</i>	2	4				6
<i>Charadrius dubius</i>				2		2
<i>Chlidonias niger</i>				6		6
<i>Chloris chloris</i>	1					1
<i>Coccothraustes coccothraustes</i>				2		2
<i>Corvus cornix</i>	1				1	2
<i>Corvus frugilegus</i>	1				1	2
<i>Cuculus canorus</i>				1		1
<i>Dendrocopos major</i>	3			1		4
<i>Emberiza calandra</i>	3					3
<i>Emberiza citrinella</i>	18				1	19
<i>Emberiza schoeniclus</i>	1	13				14
<i>Falco subbuteo</i>				1		1
<i>Galerida cristata</i>	5					5

Species	Collector					Σ
	P. K. Vereshchak	G. S. Kochubey	S. D. Lubkin	M. L. Shcherbyna	Unknown	
<i>Garrulus glandarius</i>	2					2
<i>Lanius collurio</i>				1	1	2
<i>Chroicocephalus ridibundus</i>				1		1
<i>Lullula arborea</i>	2					2
<i>Lymnocyptes minimus</i>	1					1
<i>Milvus migrans</i>				2		2
<i>Motacilla alba</i>	3					3
<i>Motacilla flava</i>				1		1
<i>Oriolus oriolus</i>				2		2
<i>Periparus ater</i>	2					2
<i>Cyanistes caeruleus</i>	5	1				6
<i>Lophophanes cristatus</i>	2	3				5
<i>Parus major</i>	11	1				12
<i>Poecile montanus</i>		1				1
<i>Poecile palustris</i>	2	1				3
<i>Passer domesticus</i>	17	1				18
<i>Passer montanus</i>	8	1				9
<i>Calidris pugnax</i>				6		6
<i>Prunella modularis</i>	2					2
<i>Pyrrhula pyrrhula</i>	1					1
<i>Perdix perdix</i>					1	1
<i>Regulus regulus</i>	6	2				8
<i>Saxicola rubetra</i>				2		2
<i>Sitta europaea</i>	4	3				7
<i>Spinus spinus</i>	2					2
<i>Tringa totanus</i>				2		2
<i>Troglodytes troglodytes</i>			1			1
<i>Turdus merula</i>					1	1
<i>Turdus philomelos</i>	1			1	1	3
<i>Turdus viscivorus</i>		1				1
Σ	118	35	1	35	8	197

Table 4. Ornithological collections from Kyiv Oblast (1939–1945): species composition, quantity, and collectors

Species	Collector											Σ
	V. A. Antonovych	B. I. Biliskyi	V. Yu. Gerhner	Krywkovych	S. D. Lubkin	G. V. Modin	B. M. Popov	L. A. Prizhebyl'skyi	M. V. Charlemagne	Shakov	Unknown	
<i>Actitis hypoleucos</i>									1			1
<i>Aegithalos caudatus</i>	1											1
<i>Alauda arvensis</i>	2								1			3
<i>Anas acuta</i>	1											1
<i>Anas crecca</i>	1											1
<i>Anser albifrons</i>									1			1
<i>Apus apus</i>									1			1
<i>Athene noctua</i>				1								1
<i>Aythya ferina</i>							1					1
<i>Calidris pugnax</i>	3				1				2			6
<i>Carduelis carduelis</i>	1											1
<i>Charadrius dubius</i>					2							2
<i>Chlidonias leucopterus</i>	1				1							2
<i>Chlidonias niger</i>				2	1							3
<i>Chloris chloris</i>											1	1
<i>Chroicocephalus ridibundus</i>	1											1
<i>Circus cyaneus</i>					1							1
<i>Coloeus monedula</i>	1											1
<i>Corvus corax</i>			1									1
<i>Corvus cornix</i>	2											2
<i>Corvus corone</i>											1	1
<i>Corvus frugilegus</i>									1			1
<i>Crex crex</i>	3											3
<i>Cuculus canorus</i>							1					1

Species	Collector											Σ
	V. A. Antonovych	B. I. Biliskyi	V. Yu. Gerhner	Крыжовych	S. D. Lubkin	G. V. Modlin	B. M. Popov	L. A. Przhebylskyi	M. V. Charlemagne	Shakov	Unknown	
<i>Dendrocopos leucotos</i>							1					1
<i>Dendrocopos major</i>	2							1				3
<i>Dendrocopos medius</i>							1					1
<i>Dendrocopos minor</i>	2				1		1					4
<i>Lanius collurio</i>					1		1					2
<i>Lanius minor</i>					1						1	2
<i>Limosa limosa</i>	1											1
<i>Lophophanes cristatus</i>	1											1
<i>Lullula arborea</i>	1											1
<i>Lymnocyptes minimus</i>									1			1
<i>Milvus migrans</i>	1											1
<i>Motacilla alba</i>					1							1
<i>Motacilla flava</i>	2			1								3
<i>Oenanthe oenanthe</i>	1											1
<i>Parus major</i>	1							1				2
<i>Passer montanus</i>		2		3							6	11
<i>Picus canus</i>	1											1
<i>Picus viridis</i>							2				1	3
<i>Prunella modularis</i>	1											1
<i>Rallus aquaticus</i>							1					1
<i>Remiz pendulinus</i>					2							2
<i>Sitta europaea</i>	1											1
<i>Spatula querquedula</i>	2			1								3
<i>Sterna hirundo</i>					1							1
<i>Sternula albifrons</i>					1							1
<i>Sturnus vulgaris</i>	2				1						1	4
<i>Tringa nebularia</i>	1											1
<i>Tringa ochropus</i>				1								1
<i>Tringa totanus</i>	3					1						4
<i>Turdus iliacus</i>								1				1
<i>Turdus merula</i>										1		1
<i>Turdus philomelos</i>								1				1
<i>Turdus pilaris</i>	2											2
<i>Turdus viscivorus</i>	1											1
<i>Vanellus vanellus</i>				2								2
Σ	43	2	1	11	15	1	9	4	8	1	11	106

Thus, Kyiv Oblast acts as a key region for the comparative analysis of ornithological collections during the First and Second World Wars. The relative stability during the First World War allowed for systematic collecting with a detailed documentation, which ensured the scientific completeness and geographical representativeness of the materials. However, during the Second World War, despite the occupation, restrictions, and the threat of loss of institutional support, scientific activity did not stop completely—individual specimens of important historical and scientific significance were preserved.

Conclusions

Ornithological collections formed during the First and Second World Wars are not only a source of biological information, but also evidence of scientific resilience, cultural memory, and personal dedication of researchers. Analysis of materials collected during these difficult historical periods allows reconstructing the conditions of scientific work, tracing the dynamics of collections, assessing the level of documentation, and identifying regional features of the formation of museum collections.

A comparison of the two war periods showed that the specimens from the time of the First World War have more complete label information, which indicates a high level of training of the collectors and stable working conditions. In contrast, the materials from the Second World War, although less documented in detail, demonstrate the preservation of scientific activity even under conditions of occupation and limited access to resources. Kyiv Oblasts acts as a key region for comparative analysis, ensuring the representativeness of the data and the stability of the collections in both periods.

The discovery of specimens of species listed in the Red Data Book of Ukraine emphasises the conservation value of the museum collection and opens up opportunities for retrospective monitoring of biodiversity. Historical data recorded in museum collections acquire special importance under conditions of the currently ongoing war, when the preservation of scientific heritage is again under threat.

Thus, the ornithological materials of the NMNH collected during the two world wars are not only a scientific resource, but also a cultural artifact, testifying to the ability of science to survive, adapt, and preserve values even in the most difficult times. The experience of the past should become the basis for developing strategies for protecting museum collections, supporting scientific activities, and rethinking the role of collections in preserving national memory.

Acknowledgements

The author is thankful to I. Zagorodniuk for his support and the many consultations that largely contributed to the conception and realisation of the idea of this publication. The author also expresses gratitude to all curators and keepers who cared for the ornithological collection with love, admiration and professional devotion preserving it through changing times and circumstances. Their work is not only a scientific responsibility, but also an act of cultural service that deserves deep appreciation.

Funding

The study was carried out as part of the research project supported by the NMNH NAS of Ukraine No. 0125U000218 (Section 2: 'Analysis of the ornithological collection of the NMNH NAS of Ukraine for assessing bird diversity under conditions of ecosystem transformation affected by natural and anthropogenic factors (on the example of Kyiv and Kyiv Oblast'; Section 7: 'Inventory, cataloguing, restoration, and preservation of the exhibition, scientific collections and new acquisitions of the Department of Zoology of the NMNH NAS of Ukraine'; and No. 0125U000927 (Section 3: 'Rare bird species of the Dnipro River basin (within the northern regions) and the assessment of risks of their loss under anthropogenic and military pressures').

References

- Barabanova, V. V., Klochko, H. V., Maliuk, A. Yu., Manilo, L. G., Martynov, A. V., Pankov, A. V., Petrenko, N. A., Taykova, S. Yu., Ulyura, E. M. (2019). A brief review on the history of formation and composition of scientific collections of the Department of Zoology of the National Museum of Natural History, NAS of Ukraine. *Proceedings of the Zoological Museum*, 50, 50–69.
- Botushanskyi, V. (2017). Chernivtsi University during World War I (1914–1918). *History Journal of Yuriy Fedkovych Chernivtsi National University*, 1(45), 38–45. <https://doi.org/10.31861/hj2017.45.38-45>
- Gavryliuk, M. N. (1995). Petro Petrovych Orlov (1899–1991). *Berkut*, 4(1–2), 88–89.
- Gill, F., Donsker, D., Rasmussen, P. (2021). *IOC World Bird List* (Version 11.2). International Ornithologists' Union. <https://doi.org/10.14344/IOC.ML.14.1>
- Karavaev, V. O. (1926). A brief outline of the development and current state of the UAS Zoological Museum. *Collection of Works of the Zoological Museum*, 1(1), 21–29.
- Klymyshyn, O., Shydlovsky, I. (2014). Museums of nature: History of formation. *Scientific Notes of the State Natural History Museum*, 30, 23–30.
- Korobchenko, M. (2016). Evdokia Reshetnyk (1903–1996) – an outstanding figure in the history of academic zoology and ecology in Ukraine. *Proceedings of the National Museum of Natural History*, 14, 136–146. <https://doi.org/10.15407/vnm.2016.14.136>
- Mikhalenok, D. (2023). Zoologist Sergiy Paramonov and his “Chemogenesis — A New Theory of Evolution” (to the 130th anniversary of his birth). *GEO&BIO*, 25, 202–226. <https://doi.org/10.53452/gb2516>
- Orlov, P. P. (1948). On the role of birds in the distribution of Comstock mealybug (*Pseudococcus comstocki* Kuw.). *Scientific Notes of Cherkasy State Teacher-Training Institute*, 2, 73–80.
- Shevchenko, S., Zagorodniuk, I. (2025). Collectors of the Museum of Forest Birds and Mammals of NULES of Ukraine. *Novitates Theriologicae*, 17, 183–187. <https://doi.org/10.53452/nt1732>
- Shydlovsky, I. V. (2012). *History of Museum Work and Zoological Museums of University in Ukraine* (Y. V. Tsaryk, Ed.). Ivan Franko National University of Lviv. 112 pp.
- Tajkova, S. (2025). Ornithological collections from the Transcarpathian Oblast in the holdings of the National Museum of Natural History, NAS of Ukraine. *Scientific Bulletin of Uzhhorod University (Biology Series)*, 58, 153–162. <https://doi.org/10.32782/1998-6475.2025.58.21>
- Tajkova, S., Gavrish, G. (2025). Ornithological collections from the regions of National Nature Park “Nyzhnosulskyi” and Regional Landscape Park “Trakhtemyriv” in the collection of the National Museum of

- Natural History of the National Academy of Sciences of Ukraine. *Scientific Bulletin of Uzhhorod University (Series Biology)*, 59, 69–73. <https://doi.org/10.32782/1998-6475.2025.59.15>
- Tajkova, S., Klochko, A. (2019). Enlargement of the ornithological collection of the Department of Zoology of the National Museum of Natural History NAS of Ukraine in 1919–1933. *Natural History Museology*, 5, 99–101.
- Tajkova, S., Klochko, H. (2025). Mykola Sharleman's contribution to the study of bird diversity: An analysis of the collection of the National Museum of Natural History. *GEO&BIO*, 27, 91–100. <https://doi.org/10.53452/gb2707>
- Ulyanovsky, V. (Comp.). (2014). *N. V. Sharleman. Nature and People of Kyivan Rus': Memoirs. Autobiography. Correspondence*. Kyiv. 1130 pp.
- Zagorodniuk, I. (2022a). Zoological museums and mammal collections in Kyiv for the last two centuries: History, values, and prospects. *GEO&BIO*, 22, 37–62. <https://doi.org/10.15407/gb2205>
- Zagorodniuk, I. (2022b). Viktor Averin as one of the founders of applied zoological research in Ukraine. *Novitates Theriologicae*, 14, 19–22.
- Zagorodniuk, I. (2022c). Mikhail Rozanov, a zoologist, conservationist, collector, researcher of the fauna of the Crimea, Caucasus, and Pamirs. *Novitates Theriologicae*, 15, 256–258.
- Zagorodniuk, I. (2023). Matvii Shcherbyna, a zoologist and collector, member of the Ukrainian Scientific Society. *Novitates Theriologicae*, 16, 181–184. <https://doi.org/10.53452/nt1634>

Орнітологічні колекції часів Першої та Другої світових воєн у Національному науково-природничому музеї Національної академії наук України

С. Тайкова

Ця робота присвячена дослідженню процесу формування, збереження та трансформації орнітологічної колекції Національного науково-природничого музею НАН України у контексті подій Першої (1914–1918) та Другої (1939–1945) світових воєн. На основі аналізу історичних джерел, інвентарних книг, фондової картотеки та етикеток здійснено реконструкцію шляхів надходження екземплярів, виявлено особливості наукової діяльності в умовах соціальних потрясінь, а також оцінено наукову, культурну й природоохоронну цінність матеріалів. Об'єктом дослідження є орнітологічна колекція ННПМ, яка налічує понад 40 000 одиниць зберігання, включаючи музейні тушки, кладки яєць та експозиційні зразки. У межах роботи опрацьовано понад 700 екз., зібраних у роки воєн, із деталізацією за роками, регіонами, колекторами та таксономічним складом. Особливу увагу приділено Київській області — єдиному регіону, представленому у фондах з достатньою кількістю екземплярів за обома воєнними періодами. У 1919–1933 рр., попри відсутність музею як інституції, фонди поповнювалися переважно за рахунок особистих колекцій та матеріалів інших установ; понад 89% екземплярів походять з Київської області та Криму. Виявлено 15 видів, нині занесених до Червоної книги України: *Anarhynchus alexandrinus* (3), *Falco naumanni* (2), *Milvus migrans* (2), *Grus virgo* (1), *Asio flammeus* (1), *Bubo bubo* (1), *Circus macrourus* (1), *Glareola nordmanni* (1), *Haematopus ostralegus* (1), *Lanius excubitor* (1), *Podiceps grisegena* (1), *Recurvirostra avosetta* (1), *Pastor roseus* (1), *Tetrao urogallus* (1), *Tetrastes bonasia* (1). У роки Другої світової війни музейна діяльність була нерівномірною: пік зборів припав на 1939–1940 рр., після чого відбувся різкий спад. Загалом фонди поповнилися 364 екземплярами, з яких 257 походять з України; ключовим регіоном знову виступає Київщина. Виявлено 17 видів, занесених до Червоної книги України: *Numerius arquata* (3), *Picus viridis* (3), *Circus cyaneus* (2), *Grus virgo* (1), *Clanga clanga* (1), *Bucephala clangula* (1), *Alaudala rufescens* (1), *Dendrocopos leucotos* (1), *Haematopus ostralegus* (1), *Limosa limosa* (1), *Milvus migrans* (1), *Netta rufina* (1), *Recurvirostra avosetta* (1), *Branta ruficollis* (1), *Sternula albifrons* (1), *Strix uralensis* (1), *Tringa stagnatilis* (1).

Ключові слова: орнітологічні колекції, світові війни, птахи Червоної книги, Національний науково-природничий музей

Цитування: Tajkova S. Ornithological collections from the time of the First and Second World Wars at the National Museum of Natural History, National Academy of Sciences of Ukraine. *Вісник Харківського національного університету імені В.Н. Каразіна. Серія «Біологія»*, 2026, 46, 70–81. <https://doi.org/10.26565/2075-5457-2026-46-6>

Про автора:

Тайкова С. — Національний науково-природничий музей НАН України, вул. Богдана Хмельницького, 15, Київ, Україна, 01030, tajkovaveta@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0001-9037-6471>

Use of Artificial Intelligence: The author certifies that no generative artificial intelligence tools were used in the conduct of the research or in the preparation of this manuscript. / **Використання штучного інтелекту:** Автор засвідчує, що під час проведення дослідження та підготовки цього рукопису генеративний штучний інтелект не використовувався.

Подано до редакції: 15.03.2026 / **Прорецензовано:** 29.04.2026 / **Прийнято до друку:** 25.05.2026 / **Отримано:** 31.05.2026

DOI: <https://doi.org/10.26565/2075-5457-2026-46-7>
UDC: 635.656:631.527:57

The effectiveness of artificial pollination in various representatives of the genus *Pisum* L.

A.O. Vasylenko, N.O. Vus, L.M. Shevchenko, O.M. Bezuhla,
A.V. Hlyantsev, V.O. Skydan, Yu.O. Zimohlyad

Wild relatives of cultivated pea (*Pisum sativum* L.) represent an important reservoir of alleles associated with resistance to biotic and abiotic stressors; however, their use in breeding programs is constrained by limited knowledge of their diversity and by difficulties in obtaining hybrids under field conditions. In this study, we evaluated the efficiency of interspecific hybridization among *P. sativum*, *P. elatius* and *P. fulvum* under field conditions, focusing on the effects of flower emasculation timing, parental genotype, and direction of the cross. Morphological characteristics of the parental accessions were used to facilitate hybrid identification based on seed-coat coloration in direct and reciprocal crosses. Two pollination approaches were compared: immediate pollination following flower emasculation and delayed pollination conducted 24 hours after emasculation.

Across combinations involving *P. sativum*, hybrid seed set (S/F index) was consistently higher when pollination was performed immediately after emasculation. Delayed pollination resulted in a marked reduction of hybrid seed production, likely reflecting both physiological constraints and high temperature stress during flowering. Reciprocal crosses revealed low and relatively uniform hybridization efficiency in combinations with *P. fulvum*, whereas crosses involving *P. elatius* produced substantially higher seed set, consistent with its close genetic affinity to *P. sativum*. The stability of hybridization efficiency across years (2020 – 2021) was confirmed for several cross combinations. Evaluation of the F₁ and F₂ seed lots demonstrated the successful production of true interspecific hybrids, with diagnostic segregation observed in combinations where the wild species served as the maternal parent.

These results confirm that viable hybrids among representatives of the genus *Pisum* can be reliably obtained under field conditions and highlight that immediate post- emasculation pollination is the most effective strategy for maximizing hybrid seed production. The findings support the broader use of wild *Pisum* germplasm in pre-breeding and genetic research and provide practical recommendations for improving interspecific hybridization success in breeding programs.

Key words: *Pisum sativum* L., *Pisum elatius*, *Pisum fulvum*, hybridisation

Cite this article: Vasylenko A.O., Vus N.O., Shevchenko L.M., Bezuhla O.M., Hlyantsev A.V., Skydan V.O., Zimohlyad Yu.O. The effectiveness of artificial pollination in various representatives of the genus *Pisum* L. *The Journal of V. N. Karazin Kharkiv National University. Series Biology*, 46, 2026, p. 82-92. <https://doi.org/10.26565/2075-5457-2026-46-7>

About the authors:

Vasylenko A.O. – Yuriev Plant Production Institute of National Academy of Agrarian Science (NAAS), 142 Heroiv Kharkova av, Kharkiv, Ukraine, 61060, avase2015@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0003-0081-5894>

Vus N.O. – Agroécologie, INRAE, Institute Agro, University Bourgogne Franche-Comté, 17 Sully st, Dijon, France, Yuriev Plant Production Institute of National Academy of Agrarian Science (NAAS), 142 Heroiv Kharkova av, Kharkiv, Ukraine, 61060vus.nadezhda@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0001-7098-9158>

Shevchenko L.M. – Yuriev Plant Production Institute of National Academy of Agrarian Science (NAAS), 142 Heroiv Kharkova av, Kharkiv, Ukraine, 61060, larashevchenko667@gmail.com, <https://orcid.org/0009-0000-5213-4527>

Bezuhla O.M. – Yuriev Plant Production Institute of National Academy of Agrarian Science (NAAS), 142 Heroiv Kharkova av, Kharkiv, Ukraine, 61060, olgabezuglaya61@gmail.com <https://orcid.org/0000-0002-1458-1630>

Hlyantsev A.V. – Yuriev Plant Production Institute of National Academy of Agrarian Science (NAAS), 142 Heroiv Kharkova av, Kharkiv, Ukraine, 61060, avglyancev@gmail.com, <https://orcid.org/0009-0007-6331-1286>

Skydan V.O. – Yuriev Plant Production Institute of National Academy of Agrarian Science (NAAS), 142 Heroiv Kharkova av, Kharkiv, Ukraine, 61060, VScydan@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0001-5592-2107>

Zimohlyad Yu.O. – Yuriev Plant Production Institute of National Academy of Agrarian Science (NAAS), 142 Heroiv Kharkova av, Kharkiv, Ukraine, 61060, zimoglyadulyia25@gmail.com, <https://orcid.org/0009-0003-1808-5727>

Received: 27.11.2025 / Revised: 02.01.2026 / Accepted: 09.05.2026 / Published: 31.05.2026

Introduction

The use of genetic diversity of crops, including wild species, in breeding work is hampered by limited knowledge of their diversity and by difficulties in processing hybrid material. Yet, in the context of climate change, individual populations may contain important adaptive traits (Smýkal et al., 2018). Wild representatives of the genus *Pisum* L. may serve as promising germplasm sources for breeding for resistance to diseases and pests (Nami-Feil et al., 2017; Warkentin et al., 2024). These accessions also show high resistance to various abiotic stressors, such as drought and extreme temperatures (Nami-Feil et al., 2017). Several traits in which they differ from the field pea *Pisum sativum* subsp. *sativum* (hereafter *P. sativum*) include quality parameters and agronomic properties (branching pattern, winter hardiness, rapid root growth and rooting depth, etc.). Hybrids obtained between *P. sativum* and *Pisum fulvum* L. exhibit a significantly shorter growing season compared to each parent, which may enable them to “escape” drought and thereby increase drought tolerance (Sari et al., 2021).

P. fulvum is reported to be resistant to pea weevil (*Bruchus pisorum* L.) (Yan, 2023; Byrne et al., 2008), powdery mildew (full resistance) (Fondevilla et al., 2007), rust (Barilli et al., 2010), and *Ascochyta* blight (Jha et al., 2016; Jha et al., 2017). Pods of *Pisum sativum* subsp. *elatius* (hereafter *P. elatius*), as well as most landraces originating from the Balkans and Western Asia, respond to pea weevil oviposition by callus-like epidermal growth, which sometimes causes beetle eggs to detach (Fernández et al., 2018). Unlike *P. elatius*, *P. fulvum* does not show this response and its resistance is based on different mechanisms. *P. elatius* is also resistant to the nematode *Heterodera goettingiana* Liebscher (Vito et al., 1978; Valderrama et al., 2004), to the broomrape *Orobanche crenata* Forsk. (Valderrama et al., 2004), to powdery mildew (Devi, 2022), to fusarium and *Ascochyta* blight, and to white mould caused by *Sclerotinia sclerotiorum* (Lib.) de Bary (Chen et al., 2024). Some representatives *P. abyssinicum* A. Braun shows resistance to the nematode *H. goettingiana* (Vito et al., 1978) and to stem rot caused by *Pseudomonas syringae* (Martin-Sanz et al., 2012).

Thus, various authors have used *P. fulvum* and other wild *Pisum* representatives as sources of alleles for important breeding traits, including resistance to fungal diseases (Barilli et al., 2010; Fondevilla et al., 2011; Jha et al., 2012) and to *Bruchus pisorum* L. (Clement et al., 2009; Tayeh et al., 2015).

Although pea is a predominantly self-pollinating crop, heterogeneity has been observed within crop populations, including in self-fertilising species (Leimu et al., 2006). This highlights the importance of appropriate sampling strategies for germplasm collections (Hoban et al., 2015) to ensure the preservation of genetic diversity. Currently, wild pea accessions preserved ex situ originate from a limited number of individuals (Smýkal et al., 2015) and are therefore prone to genetic erosion (Kilian et al., 2012).

Some researchers have reported difficulties in obtaining hybrid seeds from crosses between *P. sativum* and *P. fulvum* or *P. elatius*. However, according to modern nomenclature, *P. elatius* is confirmed to belong to the species *P. sativum*, and no barriers to hybrid seed formation have been detected (Smýkal et al., 2012; Sari et al., 2023; Ellis et al., 2024). This discrepancy is explained by Yang et al. (2022), who showed that *P. elatius* exhibits a high level of introgression, suggesting that it may be of hybrid origin between cultivated and wild peas. This hybrid origin has also been supported by recent analyses of admixture among wild *P. sativum* groups, including northern *Pisum humile* Boiss. & Noë, southern *P. humile* and *P. elatius*.

Therefore, the aim of our study was to demonstrate the feasibility of obtaining hybrids under field conditions and to assess the effectiveness of pollination methods for representatives of the genus *Pisum* L.

Objects and methods of research. The taxonomic description of representatives of the genus *Pisum* L. was provided according to the GRIN Taxonomy database (USDA, accessed 30.06.2025). Detailed passport data for all genotypes are available via their catalogue numbers (noted in parentheses) at the National Center for Plant Genetic Resources of Ukraine or through the international Plant Genetic Resources for Food and Agriculture (PGRFA) information platform, Genesys-PGR (Genesys-PGR, 2025).

The components selected for crossing represented a range of agronomic characteristics. All *P. sativum* accessions used in the study have white corolla coloration. The breeding line DTR 94-120 is characterized by determinate growth (the shoot apex terminates in a double peduncle) and multifloration. The variety Kharkivskiyi yantarnyi (UD0101296) has orange cotyledons, while Tsarevich (UD0102105) exhibits a leafless phenotype and seeds with resistance to lodging. The varieties Oplot (UD0102351) and Haiduk (UD0102726), like Tsarevich, are leafless, but lack the lodging-resistant phenotype while showing high productivity potential. The Oplot variety is used as a resistance standard for leafless varieties against *scochyta* blight (Vasylenko et al., 2021).

P. fulvum L. (UD0101508) displays typical wild-type characteristics: thin stems, high branching tendency, small leaves and seeds, yellow-brown corolla color and brown-green seeds with dark mottling.

P. elatius L. (UD0101506), in contrast to *P. fulvum*, has a thicker medium-length stem, a large leaf petiole with well-developed leaflets, and flowers of medium size. Its corolla is light purple with darker venation. Seed coloration is similar to *P. fulvum*, although seeds are larger.

Thus, in the crossing variants where *P. sativum* acts as the maternal component and *P. elatius* or *P. fulvum* act as the paternal component, if pollination occurs, the F₁ hybrid seeds will exhibit the seed-coat coloration of the paternal component, and there is no doubt that the resulting seeds are hybrid. In the reciprocal variant (*P. elatius* or *P. fulvum* as the maternal component × *P. sativum*), doubts may arise regarding the hybridity of the F₁ seeds, and in this case it is necessary to obtain the second generation of seeds (F₂) to confirm the authenticity of the hybrids.

Plant placement for crossing according to the author's patented scheme (Chekrygin et al., 2008.), which ensures gradual flowering of plants (due to different sowing dates): 4 blocks were sown every 4 days; The first block was sown at the optimal time, subsequent blocks were sown every 4 days. Each block consists of 3 plots with three rows. The length of the row is 1 m, row spacing – 0.15 m, the distance between three-row plots is 0.3 m. Ten seeds were planted in each row, the distance between them was 0.10 m. Sowing was carried out using manual planters.

In 2020, to determine the efficiency of hybridization procedures in obtaining hybrids among *P. fulvum* L., *P. elatius* L. and *P. sativum*, the following experiment was conducted. In the first treatment, pollination was performed 15 minutes after emasculation; in the second treatment, pollination was performed 24 hours after emasculation ("waiting"). Emasculation was performed by cutting the keel along its sagittal suture and removing the anthers. The flower was then pollinated with pollen from the paternal component and tagged with colored threads.

To ensure hybrid formation, emasculation of flowers was carried out prior to pollination. This procedure typically lasted from 5:00 a.m. to 4:00 p.m., but it is most convenient to carry out this procedure before 1 p.m.

Statistical analysis and data visualization

To assess the efficiency of the crosses, we calculated ratio the number of seeds obtained per emasculated (artificially pollinated) flower (S/F). All statistical analyses and data visualization were performed using R software version 4.2.2 (R Core Team, 2023). Data preprocessing and basic statistical calculations were conducted using the 'openxlsx' (Schauberger & Walker, 2022), 'tidyverse', and 'rlang' packages (Henry & Wickham, 2023). Graphical visualization was carried out using 'ggplot2' (Wickham, 2016), with figure composition supported by 'patchwork' (Pedersen, 2024) and label optimization by 'ggrepel' (Slowikowski, 2024).

Statistical support for was assessed using non-parametric bootstrap (5000 resamples) (Davison & Hinkley, 1997) using 'boot' (Canty & Ripley, 2024) and 'purrr' (Wickham & Henry, 2023) packages. Differences were considered significant when 95% confidence intervals of percentage differences did not overlap zero.

Results and Discussion

In 2020, the crossing was carried out from June 17 to June 21, and in 2021 from June 14 to June 23. Usually, this period is characterized by sufficient rainfall and optimal temperature conditions. However, the conditions of the 2020 growing season turned out to be hotter with a long period of no precipitation (Table 1).

Table 1. Weather conditions of the growing season of peas from 20.05. to 04.07. in 2020–2021

Year	Temperature, °C			Σ of precipitation, mm	N of days without precipitation	Maximum duration of the rainless period	Number of days of extreme heat		
	Mean	Max	Min				>25°C	>28°C	>30°C
2020	21.18	33	5	131.6	35	12	27	15	6
2021	20.66	33	5	94.1	27	7	17	11	7
mean	20.28	32.06	6.19	97.49	30	9.78	22.4	11.13	6.06

If in 2021 the maximum period without precipitation was 7 days, then in 2020 it was 12. There were also a greater number of days with extreme temperatures in 2020. It should be noted that the rainless period in 2020 fell just before the pea flowering and crossing. Thus, just from the middle of the first decade of June 2020, when pea plants were entering a state of active formation and growth of generative organs, a significant increase in temperature began and for 12 days there was no precipitation of any kind (Fig. 1).

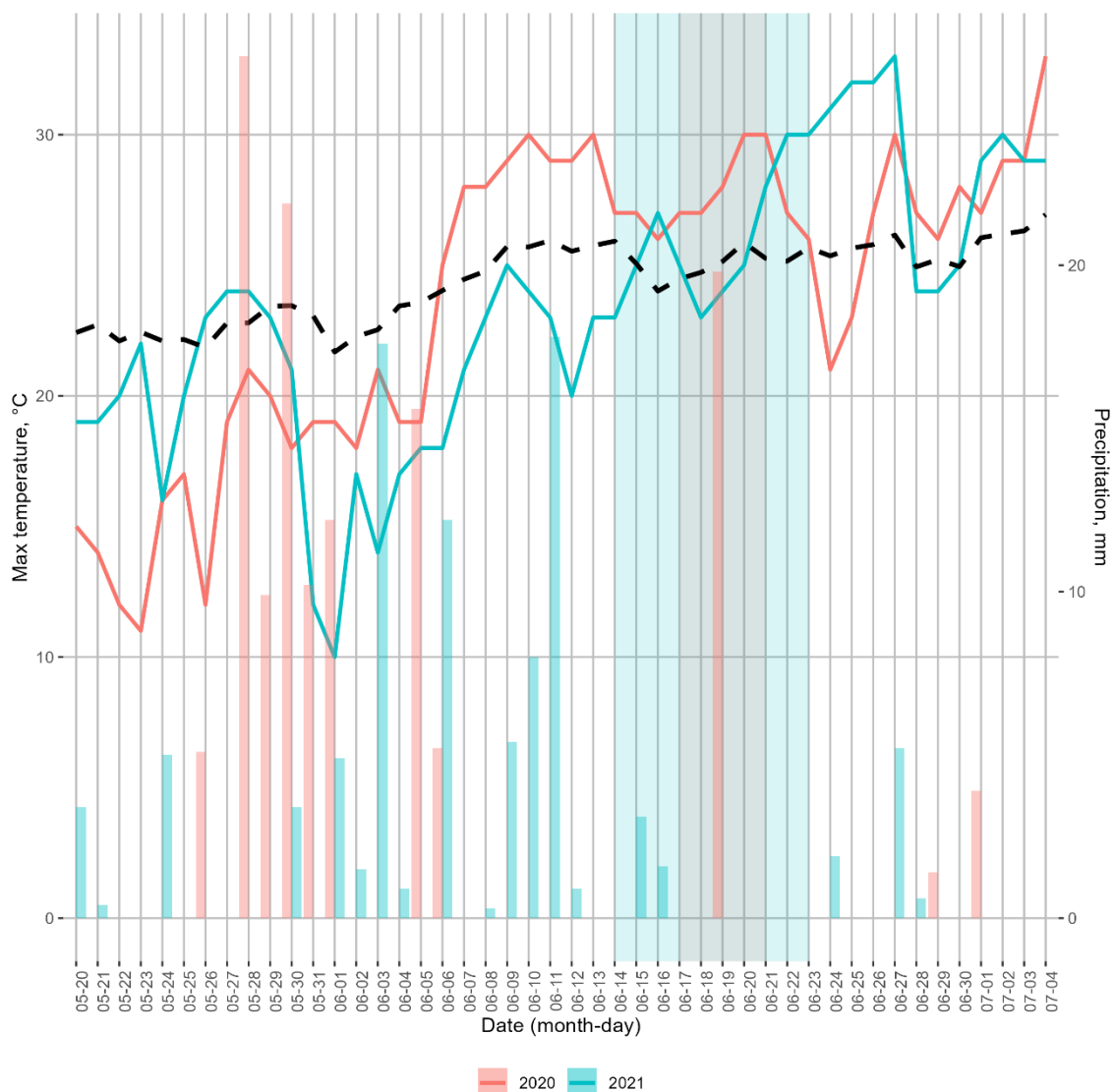


Fig. 1. Daily maximum of temperature and sum of precipitation. Main lines – years of research, dashed line – multi-year average. Shaded area - crossing period for each year

An increase in temperature from 24 to 36°C during the pollination period of pea has a significant negative effect on pollen germination, ovary formation, seed formation in the pod, and pod development, and is also genotype-dependent (Jiang et al., 2015). Our studies allowed us to assess the possibility of obtaining productive hybrid seeds under extreme field conditions.

Given that in pea the gynoecium matures earlier than the androecium, some researchers do not perform emasculation but pollinate the flowers directly. In cultivated varieties, self-pollination occurs in flower buds at a more advanced developmental stage (stage 4), whereas in wild plants pollination may occur already in buds at stages 2–3 (Knott, 2008)

Additional insect-mediated pollination cannot be excluded, and ovaries that lag behind in development may also become pollinated during the open-flower stage, because the stigma remains receptive for 8–10 days, although the highest pollination rate occurs during the first three days after emasculation.

The process of emasculation in the field, in our opinion, the most convenient is the manual method with complete removal of anthers. For different crops, the process itself and its effectiveness for obtaining hybrids are very specific. In the study by Sekiguchi et al. (2023), male sterility was effectively induced in cowpea and two dicotyledonous model species (*Arabidopsis thaliana* (L.) Heynh. and *Nicotiana benthamiana* Domin) using trifluoromethanesulfonamide (TFMSA). Pollen-viability assays using Alexander staining showed that 30 ml of 1000 mg/L TFMSA, applied twice at a one-week interval at the early stage of the reproductive phase under field or greenhouse conditions, induced 99% pollen sterility in cowpea.

Guerra et al. (2008) identified flower emasculation as the cause of premature ovule degeneration and its implications for subsequent fruit set. There is no consensus regarding the time of emasculation and pollination. Thus, Saha (2021) suggests carrying out emasculation on the eve of pollination at 4-6 am.

The results of assessing hybridization efficiency depending on the time between emasculation and pollination with bootstrap analysis showed a significant difference in both the crossing probability (percentage of productive pods per pollinated flower) and pollination efficiency (number of seeds formed per pollinated flower) of immediate pollination after emasculation versus delayed pollination regardless of the type of maternal component (Table 2).

Differences in crossing probability and pollination efficiency between immediate and delayed pollination were assessed using bootstrap resampling (5000 iterations), with hybrid combinations treated as independent experimental units. Immediate pollination increased pod set by 0.28 - 0.70 (absolute proportion units) compared to delayed pollination. Seed production per pollinated flower was significantly higher under immediate pollination ($\Delta = 1.12$ seeds per flower, 95% CI: 0.74–1.56).

Table 2. Effect of pollination timing on hybridization success in *Pisum* (bootstrap analysis), 2020

Response variable	Time after emasculation, h	Mean	Δ (0 h – 24 h)	95% CI
Crossing probability (Pod per flower)	0	0.61	0.43	0.28 - 0.70*
	24	0.18		
Pollination efficiency (Seeds per flower)	0	1.44	1.11	0.74 - 1.56*
	24	0.33		

Values represent means across maternal genotypes.
 Δ = difference between immediate and delayed pollination.
 * Significant difference inferred from bootstrap 95% confidence interval (does not include zero)

Although the numbers of emasculated flowers differed between the immediate-pollination variant and the “waiting” (24-hour delay) variant, this did not influence the overall interpretation of pollination efficiency. For example, in the combination Kharkivskiy yantarnyi \times *P. fulvum*, the numbers of emasculated flowers were nearly identical in both treatments, yet the pollination efficiency after one day was extremely low, as it was in the combination Tsarevich \times *P. fulvum*. In the combination DTR 94-120 \times *P. fulvum*, the number of emasculated flowers in the immediate-pollination variant was twice lower than in the 24-hour variant, but both treatments produced the same number of pods. At the same time, the number of seeds in the first variant was considerably higher: the S/F index reached 1.63, compared with only 0.60 in the “waiting” treatment. In our experience, combinations in which both parental components belong to *P. sativum* usually show a high ratio of seeds per emasculated flower – typically two or more seeds per flower, depending on the conditions of the year (Fig. 2).

Although pea is considered a predominantly self-pollinating species, cross-pollination occurs in both wild and cultivated forms (Dostálová et al., 2005; Olowick et al., 2002; Loenning et al., 1984). Suso et al. (2016) demonstrated that most legumes, including pea, possess floral structures enabling outcrossing. A study by Saboor et al. (2016) in Pakistan identified seven Diptera species, two Hymenoptera species, two Lepidoptera species, and one Coleoptera species acting as pollinators of cultivated pea. Field experiments have shown that pea pollen can disperse over several hundred meters (Dostálová et al., 2005; Olowick et al., 2002). For comparison, outcrossing rates in wild cowpea (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.) populations in West Africa range from 1% to 9.5% (Kouam et al., 2012), classifying cowpea as a predominantly self-pollinating species. In *Medicago truncatula*, the outcrossing rate is 3–5% (Bonnin et al., 2001). However, some outcrossing events may remain undetected in highly genetically homogeneous populations because offspring may not show visible heterozygosity. In this context, we plan further research to determine outcrossing levels under field conditions in pea.

Self-pollination in wild pea populations was not necessarily advantageous during domestication but is part of a mixed mating system. This trait remains valuable for breeders working under decreasing pollinator abundance. Insect-mediated outcrossing can exploit heterosis in crop species, while in the absence of pollinators, self-pollination ensures minimal but sufficient seed set. This provides reproductive assurance while allowing high outcrossing rates when pollinators are available (Suso et al., 2016).

Thus, we conclude that pollination efficiency in our crossing combinations was substantially higher when performed immediately after emasculation, although the influence of parental genotype cannot be excluded.

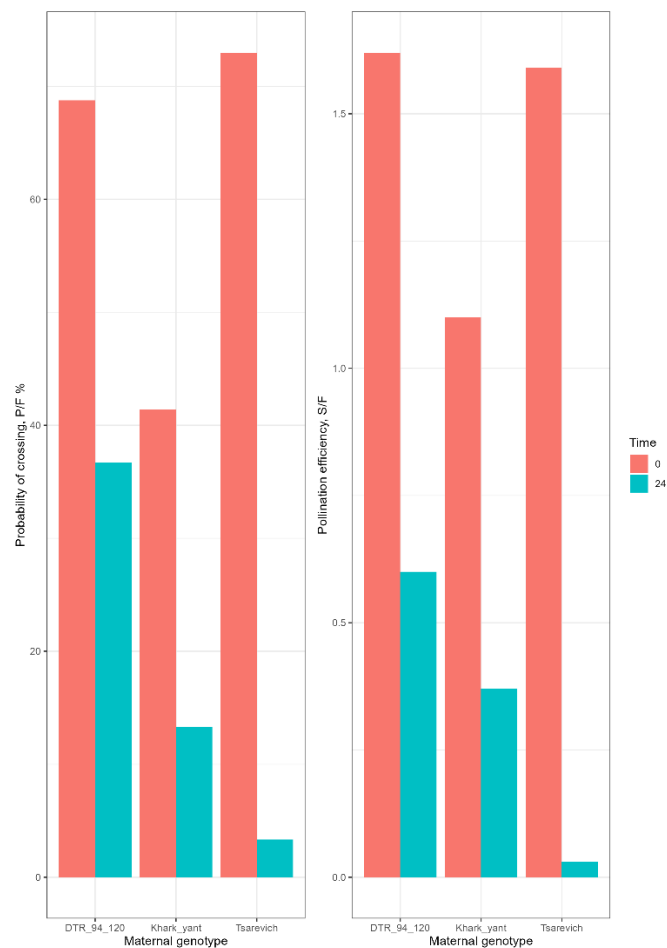


Fig. 2. Pea hybridisation efficiency, 2020 depending on time after emasculations: immediately after emasculations or the next day (24-hour delay). Paternal component – *Pisum fulvum*

Combining different options for combining the paternal and maternal components allowed us to assess the pollination efficiency and the possibility of including the wild component in the hybrid material (Table 3).

Table 3. Effect of year condition on hybridization success in *Pisum*, 2020-2021

Maternal component	Paternal component	Year	N of flowers	N of seeds	SFInd
DTR 94-120	<i>P. fulvum</i>	2020	62	70	1.13
DTR 94-120	<i>P. fulvum</i>	2021	20	0	0.00
<i>P. fulvum</i>	DTR 94-120	2020	30	18	0.60
<i>P. fulvum</i>	DTR 94-120	2021	13	6	0.46
<i>P. elatius</i>	Hayduk	2020	30	56	1.87
<i>P. elatius</i>	Hayduk	2021	35	55	1.57
<i>P. elatius</i>	DTR 94-120	2020	21	43	2.05
<i>P. elatius</i>	DTR 94-120	2021	35	1	0.03
<i>P. elatius</i>	Kharkivskiyi yantarnyi	2020	20	25	1.25
<i>P. elatius</i>	Kharkivskiyi yantarnyi	2021	15	21	1.40

Differences between years were assessed using bootstrap resampling of crossing combinations present in both years. Bootstrap analysis confirmed significant differences between years of experiment in seed production efficiency ($\Delta = 1.1$, 95% CI: 0.06 to 1.16). A significant negative effect of *P. fulvum* on seed

production efficiency was observed compared to *P. elatius*. Crosses involving *P. fulvum* showed significantly lower seed production efficiency compared to *P. elatius*. Bootstrap analysis confirmed a negative effect ($\Delta = -0.68$, 95% CI: -1.24 to -0.12), which was consistent with the quasi-Poisson model (rate ratio = 0.57, $p = 0.034$). Bootstrap analysis revealed significant variation among *Pisum sativum* genotypes, indicating that genotype identity plays an important role in cross success ($\Delta = 0.92$, 95% CI: 0.04–0.96). This result highlights the importance of selecting appropriate genotypes for interspecific hybridization.

The evaluation of reciprocal crosses proved a significant difference between pollination efficiency and direction of crossing and confirmed a strong dependence on the conditions of the year (Fig. 3). Thus, if for hybrid combinations involving *P. elatius* two combinations out of three had a significant advantage in pollination efficiency when the wild component was used as the maternal form (direct crossing), and only one – reverse. For combinations with *P. fulvum*, using the wild component as the parent was more effective and had a significant difference when crossing with Tsarevich and Kharkivskyy Yantarnyy. In the combination of *P. fulvum* – DTR 94-120, the difference between direct and reciprocal crossing was significant only in the conditions of one year, 2020.

The higher cross-breeding efficiency in combinations involving *P. elatius* and *P. sativum*, compared to combinations where *P. fulvum* acted as one of the parents, may be explained by the fact that *P. elatius* is a member of the species *Pisum sativum* (Yang et al., 2022). Although some authors have reported cases of nuclear – cytoplasmic incompatibility between *P. elatius* accessions and cultivated pea, most representatives of the genus *Pisum* – wild *P. fulvum*, *P. elatius*, *P. humile* and the cultivated taxon *P. abyssinicum* – can be crossed with *P. sativum*, particularly when cultivated pea is used as the female parent (Ben-Ze'ev and Zohary, 1973; Ochatt et al., 2004). Our results indicate that the number of hybrid seeds obtained in *P. sativum* × *P. elatius* combinations may vary depending on the genotype of the *P. sativum* parent.

In 2023, seeds obtained in 2021 were grown in the hybrid nursery. Based on the seed-coat coloration in the combinations Haiduk, Tsarevich and Oplot with *P. elatius*, true hybrids were obtained (Table 4).

For combinations where *P. elatius* served as the maternal parent, the next generation is required to observe segregation for anthocyanin pigmentation (flowers, leaf petioles, stem) or white corolla coloration. Thus, interspecific hybrids have already been obtained, and work will continue in subsequent years.

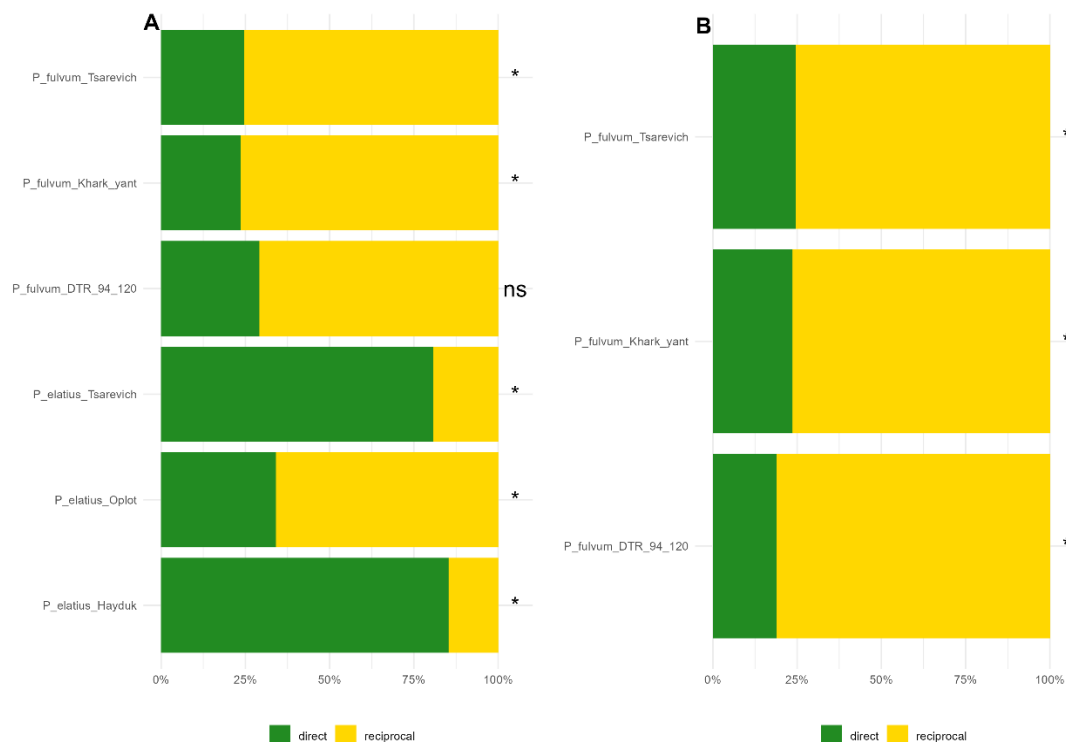


Fig. 3. Pollination efficiency of direct and reciprocal crosses. Asterisks indicate statistically supported differences between direct and reciprocal crosses based on 95% bootstrap confidence. A - all combinations, B - for *P. fulvum* 2020 only.

Table 4. Color of hybrid seeds F2

Accessions		Seeds sown (2021 harvest, pcs.)	Plants obtained (2023)	Seed color, F2
♀	♀			
<i>P. elatius</i>	Haiduk	55	27	brown-green
Haiduk	<i>P. elatius</i>	26	24	brown-green
Tsarevich	<i>P. elatius</i>	40	37	brown-green
Oplot	<i>P. elatius</i>	78	76	brown-green
<i>P. elatius</i>	DTR 94-120	1	1	brown-green
<i>P. elatius</i>	Kharkivskyi yantarnyi	21	19	brown-green

Conclusions

Considering the obtained results, we can state that in field conditions, to increase the efficiency of crossing for *Pisum L.* and successfully obtain hybrid seeds, both for interspecific and intraspecific crossing combinations, it is necessary to carry out pollination with the parental component immediately after emasculation. While delayed pollination for 24 hours leads to a decrease in the number of hybrid seeds.

Our results demonstrate the possibility of obtaining true hybrids between representatives of *P. sativum* x *P. fulvum* precisely in field conditions. It has been confirmed that both in field conditions (as well as in controlled conditions) for combinations of *P. sativum* x *P. fulvum* the probability of obtaining hybrid seeds increases significantly when *P. fulvum* is used as a pollinator. When obtaining hybrid offspring between *P. sativum* and *P. elatius*, a tendency for the influence of the parental component was noted.

References

- Aznar-Fernández T., Carrillo-Perdomo E., Flores F., Rubiales D. (2018). Identification and multi-environment validation of resistance to pea weevil (*Bruchus pisorum*) in *Pisum* germplasm. *Journal of Pest Science*. 91(2). <https://doi.org/10.1007/s10340-017-0925-1>
- Barilli E., Satovic Z., Rubiales D., Torres A.M. (2010). Mapping of quantitative trait loci controlling partial resistance against rust incited by *Uromyces pisi* (Pers.) Wint. in a *Pisum fulvum* L. intraspecific cross. *Euphytica*, 175, 151–159. <https://doi.org/10.1007/s10681-010-0141-z>
- Ben-Ze'Ev N., Zohary, D. (1973). Species relationships in the genus *Pisum* L. *Israel Journal of Botany*. 22, 73–91
- Bonnin I., Ronfort J., Wozniak F., Olivieri I. (2001) Spatial effects and rare outcrossing events in *Medicago truncatula* (Fabaceae). *Molecular Ecology*, 10(6), 1371–1383 <https://doi.org/10.1046/j.1365-294X.2001.01278.x>
- Byrne O., Hardie D., Khan T., Speijers J., Yan G. (2008). Genetic analysis of pod and seed resistance to pea weevil in a *Pisum sativum* x *P. fulvum* interspecific cross. *Australian Journal of Agricultural Research*, 59, 854–862. <https://doi.org/10.1071/AR07353>
- Canty A., Ripley B. (2024). boot: Bootstrap R (S-Plus) Functions. R package version 1.3-30.
- Clement S.L., McPhee K.E., Elberson L.R., Evans M.A. (2009). Pea weevil, *Bruchus pisorum* L. (Coleoptera: Bruchidae), resistance in *Pisum sativum* x *Pisum fulvum* interspecific crosses. *Plant Breeding*, 128, 478-485. <https://doi.org/10.1111/j.1439-0523.2008.01603.x>
- Chekrygin P. M., Bezugliy I. M., Ryabukha S. S., Vasylenko A. O. (2008). Method for increasing the efficiency of pea hybridization. Patent No. 33483, applicant and patent owner V. Ya. Yuryev Institute of Plant Production of the UAAS. No. u 200801875; filed on 13.02.08; published on 25.06.08, Bull. No. 12, 2008
- Chen B., Shi Y., Sun Y., Lu L., Wang L., Liu Z., Cheng S. (2024). Innovations in functional genomics and molecular breeding of pea: exploring advances and opportunities. *aBIOTECH*, 5, 71–93. <https://doi.org/10.1007/s42994-023-00129-1>
- Davison A.C., Hinkley D.V. (1997) *Bootstrap Methods and Their Applications*. Cambridge University Press, Cambridge. ISBN 0-521-57391-2
- Devi J., Mishra G. P., Sagar V., Kaswan V., Dubey R.K., Singh P.M., Sharma S.K., Behera T.K. (2022). Gene-Based Resistance to Erysiphe Species Causing Powdery Mildew Disease in Peas (*Pisum sativum* L.). *Genes*, 13(2), 316. <https://doi.org/10.3390/genes13020316>
- Dostálová R., Seidenglanz M., Griga M. (2005) Simulation and assessment of possible environmental risks associated with release of genetically modified peas (*Pisum sativum* L.) into environment in Central Europe. *Czech Journal of Genetics and Plant Breeding*, 41(2), 51–63. <https://doi.org/10.17221/3672-CJGPB>
- Ellis T.H.N., Smýkal P., Maxted N., Coyne C.J., Domoney C., Burstin J., Bouchenak-Khelladi Y., Chayut N. (2024). The Taxonomic Status of Genera within the Fabeae (Viciaeae), with a Special Focus on *Pisum*. *Diversity*, 16(7), 365. <https://doi.org/10.3390/d16070365>
- Fondevilla S., Torres A.M., Moreno M.T., Rubiales D. (2007). Identification of a new gene for resistance to powdery mildew in *Pisum fulvum*, a wild relative of pea. *Breeding Science*, 57(2), 181–184. <https://doi.org/10.1270/jsbbs.57.181>
- Genesys-PGR <https://www.genesys-pgr.org>. (Available 26.11.2025)

- Guerra M.E., Wunsch A., López-Corrales M., Rodrigo J. (2010) Flower Emasculation as the Cause for Lack of Fruit Set in Japanese Plum Crosses. *Journal American Society for Horticultural Science*, 135(6), 556–561. <https://doi.org/10.21273/JASHS.135.6.556>
- Henry L., Wickham H. (2023). rlang: Functions for Base Types and Core R and 'Tidyverse' Features. R package version 1.1.1. <https://CRAN.R-project.org/package=rlang>
- Hoban S., Strand A. (2015) *Ex situ* seed collections will benefit from considering spatial sampling design and species' reproductive biology. *Biological Conservation*, 187, 182–191. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2015.04.023>
- Jha A., Tar'an B., Stonehouse R., Warkentin T. D. (2016). Identification of QTLs associated with improved resistance to ascochyta blight in an interspecific pea recombinant inbred line population. *Crop Science*, 56 (6), 2926–2939. <https://doi.org/10.2135/cropsci2016.01.0001>
- Jha A.B., Gali K.K., Tar'an B., Warkentin T.D. (2017). Fine mapping of QTLs to develop improved markers for ascochyta blight disease resistance in pea. *Front. Plant Science*. <https://doi.org/10.3389/fpls.2017.00765>
- Jiang Y., Lahlali R., Karunakaran C., Kumar S., Davis A.R., Bueckert R.A. (2015) Seed set, pollen morphology and pollen surface composition response to heat stress in field pea. *Plant Cell Environ*, 38, 2387–2397. <https://doi.org/10.1111/pce.12589>
- Kilian A., Wenzl P., Huttner E., Carling J., Xia L., Blois H., Ciag V., Heller-Uszynska K., Jaccoud D., Hopper C., Aschenbrenner-Killian M., Evers M., Peng K., Cayla C., Hjk P., Uszynski G. (2012) Diversity Arrays Technology: a generic genome profiling technology on open platforms. *Methods in Molecular Biology*, 888, 67–89. https://doi.org/10.1007/978-1-61779-870-2_5
- Knott C. (2008). A key for stages of development of the pea (*Pisum sativum*). *Annals of Applied Biology*, 111, 233 - 245. <https://doi.org/10.1111/j.1744-7348.1987.tb01450.x>
- Kouam, E.B., Pasquet R.S., Campagne P. Tignegre J.B., Thoen K., Gaudin R., Ouedraogo J.T., Salifu A.B., Muluvi G.M., Gepts P. (2012). Genetic structure and mating system of wild cowpea populations in West Africa. *BMC Plant Biology*, 12. <https://doi.org/10.1186/1471-2229-12-113>
- Leimu R., Mutikainen P., Koricheva J., Fischer M. (2006) How general are positive relationships between plant population size, fitness and genetic variation? *Journal of Ecology*, 94(5), 942–952. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2745.2006.01150.x>
- Loening W.E. Cross fertilization in peas under different ecological conditions. *Pisum Newsletter*. 1984;16: 38-40
- Martin-Sanz A., De La Vega M., Caminero C. (2012). Resistance to *Pseudomonas syringae* in a collection of pea germplasm under field and controlled conditions. *Plant Pathology*, 61(2), 375–387. <https://doi.org/10.1111/j.1365-3059.2011.02522.x>
- Naim-Feil E., Toren M., Aubert G., Rubinstein M., Rosen A., Eshed R., Sherman A., Ophir R., Saranga Y., Abbo S. (2017). Drought response and genetic diversity in *Pisum fulvum*, a wild relative of domesticated pea. *Crop Science*. 57(3), 1145–1159. <https://doi.org/10.2135/cropsci2016.10.0880>
- Ochatt S., Benabdelmouna A., Marget P., Aubert G., Moussy F., Pontécaille C., Jacas L. (2004) Overcoming hybridization barriers between pea and some of its wild relatives. *Euphytica*, 137, 353–359. <https://doi.org/10.1023/B:EUPH.0000040476.57938.81>
- Pedersen T. (2024). patchwork: The Composer of Plots. R package version 1.3.0. <https://CRAN.R-project.org/package=patchwork>
- Polowick P.L., Vandenberg A., Mahon J.D. (2002) Field assessment of outcrossing from transgenic pea (*Pisum sativum* L.) plants. *Transgenic Research*, 11(5), 515–519 <https://doi.org/10.1023/a:1020368322335>
- R Core Team (2023). R: A Language and Environment for Statistical Computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. <https://www.R-project.org/>
- Saboor N., Sajjad A., Kamran S., Raham D., Bismillah S. (2016) Insect pollinators and their relative abundance on pea (*Pisum sativum*) at Peshawar. *Journal of Entomology and Zoology Studies*, 4(1), 112–117. <https://www.entomoljournal.com/archives/?year=2016&vol=4&issue=1&ArticleId=794>
- Sari H., Sari D., Eker T., Tokar C. (2021). De novo super-early progeny in interspecific crosses *Pisum sativum* L. × *P. fulvum* Sibth. et Sm. *Scientific Report*, 11(1), 19706 <https://doi.org/10.1038/s41598-021-99284-y>
- Sari H., Eker T., Sari D., Aksoy M., Bakir M., Dogdu V., Tokar C., Canci H. (2023). The Fastest and Most Reliable Identification of True Hybrids in the Genus *Pisum* L. *Life* (Basel), 13(11), 2222. <https://doi.org/10.3390/life13112222>
- Saha S. (2021) A practical manual on Fundamentals of Plant Breeding. *The Neotia University* 64 p. tnu.in
- Schauberger P., Walker A. (2022). openxlsx: Read, Write and Edit xlsx Files. R package version 4.2.5.1. <https://CRAN.R-project.org/package=openxlsx>
- Sekiguchi Y., Ubi B.E., Ishii T. (2023). Chemical emasculation in cowpea (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.) and dicotyledonous model species using trifluoromethanesulfonamide (TFMSA). *Plant Reproduction*, 36, 273–284. <https://doi.org/10.1007/s00497-023-00469-4>
- Slowikowski K. (2024). ggrepel: Automatically Position Non-Overlapping Text Labels with 'ggplot2'. R package version 0.9.6. <https://CRAN.R-project.org/package=ggrepel>

- Smýkal P., Aubert G., Burstin J., Coyne C., Ellis N.T.H., Flavell A.J., Ford R., Hýbl M., Macas J., Neumann P., McPhee K.E., Redden R., Rubiales D., Weller J.L., Warkentin T.D. (2012) Pea (*Pisum sativum* L.) in the Genomic Era. *Agronomy*, 2(2), 74-115. <https://doi.org/10.3390/agronomy2020074>
- Smýkal P., Coyne C., Ambrose M.J., Maxted N., Schaefer H., Blair M.W., Berger J., Greene S.L., Nelson M.N., Besharat N., Vymyslický T., Toker C., Saxena R.K., Roorikiwal M., Pandey M.K., Hu J., Li Y.H., Wang L.X., Guo Y., Qiu L.J., Redden R., Varshney R.K. (2015) Legume crops phylogeny and genetic diversity for science and breeding. *Critical Reviews in Plant Science*. 34(1-3), 43–104. <https://doi.org/10.1080/07352689.2014.897904>
- Smýkal P., Trněný O., Brus J., Hanáček P., Rathore A., Roma Das R., Pechanec V., Duchoslav M., Bhattacharyya D., Bariotakis M., Pirintsos S., Berger J., Toker C. (2018) Genetic structure of wild pea (*Pisum sativum* subsp. *elatius*) populations in the northern part of the Fertile Crescent reflects moderate cross-pollination and strong effect of geographic but not environmental distance. *PLoS ONE*, 13(3), e0194056. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0194056>
- Suso M.J., Bebeli P.J., Christmann S., Mateus C., Negri V., Pinheiro de Carvalho M.A.A., Toricelli R., Veloso M.M. (2016) Enhancing legume ecosystem services through an understanding of plant–pollinator interplay. *Frontiers in Plant Science*, 7, 333 <https://doi.org/10.3389/fpls.2016.00333>
- Tayeh N., Aubert G., Pilet-Nayel M.L., Lejeune-Hénaut I., Warkentin T.D., Burstin J. (2015) Genomic Tools in Pea Breeding Programs: Status and Perspectives. *Frontiers in Plant Science*. Nov 27;6, 1037. <https://doi.org/10.3389/fpls.2015.01037>
- USDA, Agricultural Research Service, National Plant Germplasm System. (2025). Germplasm Resources Information Network (GRIN Taxonomy). National Germplasm Resources Laboratory, Beltsville, Maryland. <https://npgsweb.ars-grin.gov/gringlobal/taxon/taxonomydetail?id=27592> (Available 30.06.2025)
- Valderrama M., Román B., Satovic Z., Rubiales D., Cubero J.I., Torres A.M. (2004). Locating quantitative trait loci associated with *Orobanche crenata* resistance in pea. *Weed Research*, 44(4), 323–328. <https://doi.org/10.1111/j.1365-3180.2004.00406.x>
- Vasylenko A.O., Vus N.O., Bezuhlyi I.N., Bezuhla O.N., Shevchenko L.N., Kucherenko Ye.Yu, Hlyantsev A.V. (2021). Pea Donors of Valuable Breeding Traits. *Вісник Харківського національного університету імені В.Н. Каразіна. «Серія Біологія»*, 36, 74–82. <https://doi.org/10.26565/2075-5457-2021-36-8>
- Vito di M., Perrino P. (1978). Reaction of *Pisum* spp. to the attacks of *Heterodera goettingiana* *Nematologia Mediterranea*, 6(1), 113–118.
- Warkentin T.D., Smýkal P., Xu P., McPhee K. (2024) Editorial: Advances in pea breeding and genomics. *Frontiers in Plant Science*, 15:1430421. <https://doi.org/10.3389/fpls.2024.1430421>
- Wickham H. (2016). ggplot2: Elegant Graphics for Data Analysis. New York: Springer-Verlag
- Wickham H., Henry L. (2023). `_purrr: Functional Programming Tools_`. R package version 1.0.2, <<https://CRAN.R-project.org/package=purrr>>.
- Yan J., Chen J., Lin Y., Yuan X., Somta P., Zhang Y., Zhang Z., Zhang X., Chen X. (2023). Mapping of quantitative trait locus reveals PsXI gene encoding xylanase inhibitor as the candidate gene for bruchid (*Callosobruchus* spp.) resistance in pea (*Pisum sativum* L.). *Frontiers in Plant Science*, 14. <https://doi.org/10.3389/fpls.2023.1057577>
- Yang T., Liu R., Luo Y., Hu S., Wang D., Wang C., Pandey M.K., Ge S., Xu Q., Li N., Li G., Huang Y., Saxena R.K., Ji Y., Li M., Yan X., He Y., Liu Y., Wang X., Xiang C., Varshev R.K., Ding H., Gao S., Zong X. (2022). Improved pea reference genome and pan-genome highlight genomic features and evolutionary characteristics. *Nature Genetics*, 54(10), 1-11. <https://doi.org/10.1038/s41588-022-01172-2>

Ефективність штучного запилення у представників роду *Pisum* L.

А.О. Василенко, Н.О. Вус, Л.М. Шевченко, О.М. Безугла,
А.В. Глянцев, В.О. Скидан, Ю.О. Зимогляд

Дикі родичі культурного гороху (*Pisum sativum* L.) є важливим резервуаром алелів, пов'язаних зі стійкістю до біотичних та абіотичних стресорів; однак їх використання в селекційних програмах обмежене інформацією про їхню різноманітність та труднощами в отриманні гібридів у польових умовах. У цьому дослідженні було оцінено ефективність міжвидової гібридизації між *P. sativum*, *P. elatius* та *P. fulvum* у польових умовах, зосереджуючись на впливі часу запилення після кастрації квіток, батьківського генотипу та напряму схрещування. Морфологічні характеристики батьківських зразків використовувалися для полегшення ідентифікації гібридів на основі забарвлення насінневої оболонки при прямому та реципрокному схрещуванні. Порівнювали два підходи до запилення: негайне запилення після кастрації квіток та відкладене запилення, проведене через 24 години після неї. У всіх комбінаціях за участю *P. sativum* / *P. fulvum* набір гібридного насіння (індекс S/F) був стабільно вищим, коли запилення проводилося одразу після кастрації. Затримка запилення призвела до помітного зниження ефективності гібридизації, що, ймовірно, відображає як фізіологічні обмеження, так і високий температурний стрес під час цвітіння. Реципрокні схрещування виявили низьку та відносно рівномірну ефективність гібридизації

в комбінаціях з *P. fulvum*, тоді як схрещування за участю *P. elatius* дали значно вищий набір насіння, що узгоджується з його близькою генетичною спорідненістю з *P. sativum*. Стабільність ефективності гібридизації протягом років (2020 – 2021) була підтверджена для кількох комбінацій схрещування. Оцінка партій насіння F₁ та F₂ продемонструвала успішне отримання справжніх міжвидових гібридів, при цьому діагностична сегрегація спостерігалася в комбінаціях, де дикий вид служив материнською лінією.

Ці результати підтверджують, що життєздатні гібриди серед представників роду *Pisum* можна надійно отримати в польових умовах, і підкреслюють, що негайне запилення після кастрації є найефективнішою стратегією для максимізації виробництва гібридного насіння. Отримані результати підтверджують ширше використання зародкової плазми дикорослих представників *Pisum* у передселекційних та генетичних дослідженнях і надають практичні рекомендації щодо покращення успіху міжвидової гібридизації в селекційних програмах.

Ключові слова: *Pisum sativum L.*, *Pisum elatius*, *Pisum fulvum*, гібридизація

Цитування: Vasylenko A.O., Vus N.O., Shevchenko L.M., Bezuhla O.M., Hlyantsev A.V., Skydan V.O., Zimohlyad Yu.O. *The effectiveness of artificial pollination in various representatives of the genus Pisum L.* Вісник Харківського національного університету імені В.Н. Каразіна. Серія «Біологія», 2026, 46, с. 82–92. <https://doi.org/10.26565/2075-5457-2026-46-7>

Про авторів:

Василенко А.О. – Інститут рослинництва імені Юр'єва НААН, проспект Героїв Харкова, 142, Харків, Україна, 61060, avase2015@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0003-0081-5894>

Вус Н.О. – Agroecologie, INRAE, Institute Agro, University Bourgogne Franche-Comté, 17 Sully st, Dijon, France, Інститут рослинництва імені Юр'єва Національної академії аграрних наук (НААН), проспект Героїв Харкова, 142, Харків, Україна, 61060vus.nadezhda@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0001-7098-9158>

Шевченко Л.М. – Інститут рослинництва імені Юр'єва НААН, проспект Героїв Харкова, 142, Харків, Україна, 61060, larashevchenko667@gmail.com, <https://orcid.org/0009-0000-5213-4527>

Безугла О.М. – Інститут рослинництва імені Юр'єва НААН, 61060, Україна, Харків, проспект Героїв Харкова, 142, olgabezuglaya61@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-1458-1630>

Глянцев А.В. – Інститут рослинництва імені Юр'єва НААН, проспект Героїв Харкова, 142, Харків, Україна, 61060, avglyanacev@gmail.com, <https://orcid.org/0009-0007-6331-1286>

Скидан В.О. – Інститут рослинництва імені Юр'єва Національної академії аграрних наук (НААН), Героїв Харкова, 142, Харків, Україна, 61060, VScydan@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0001-5592-2107>

Зимогляд Ю.О. – Інститут рослинництва імені Юр'єва НААН, проспект Героїв Харкова, 142, Харків, Україна, 61060, zimoglyadylia25@gmail.com, <https://orcid.org/0009-0003-1808-5727>

Внесок авторів: Василенко А.О.: ідея, дизайн дослідження, обговорення результатів, написання тексту, редагування тексту; Вус Н.О.: обговорення результатів, аналіз та візуалізація результатів, підбір та аналіз літературних джерел, написання тексту; редагування тексту; Безугла О.М.: обговорення результатів, підбір та аналіз літературних джерел; Скидан В.О.: обговорення результатів, підбір та аналіз літературних джерел; Шевченко Л.М. виконання експериментальної роботи; Глянцев А.В. виконання експериментальної роботи; Зимогляд Ю.О. підбір та аналіз літературних джерел. / **Authors Contribution:** Vasylenko A.O.: idea, research design, implementation of experimental work, participation in discussion of results, writing the text, editing the text; Vus N.O.: participation in discussion of results, analysis and visualization of results, selection and analysis of references, writing the text, editing the text; Bezuhla O.M.: participation in discussion of results, selection and analysis of references; Skydan V.O.: participation in discussion of results, selection and analysis of references; Shevchenko L.M.: Implementation of experimental work; Glyantsev A.V. Implementation of experimental work; Zymoglyad Yu.O.: selection and analysis of references.

Conflict of interest: The authors declare no conflict of interest. / **Конфлікт інтересів:** Автори заявляють про відсутність конфлікту інтересів

Use of Artificial Intelligence: The authors certify that no generative artificial intelligence tools were used in the conduct of the research or in the preparation of this manuscript. / **Використання штучного інтелекту:** Автори засвідчують, що під час проведення дослідження та підготовки цього рукопису генеративний штучний інтелект не використовувався.

Подано до редакції: 27.11.2025 / **Прорецензовано:** 02.01.2026 / **Прийнято до друку:** 09.05.2026 / **Оприлюднено:** 31.05.2026

DOI: <https://doi.org/10.26565/2075-5457-2026-46-8>
УДК: 634.34:635.92

Спектральні характеристики квіток декоративного виду *Ptelea trifoliata* L. В.С. Феденко

Одним із напрямів адвентизації флори вважають поширення натуралізованих чужорідних декоративних рослин поза межами території інтродукції в ботанічних садах. Проблема набула особливої актуальності в сучасних умовах, оскільки кліматичні зміни можуть знизити бар'єри для натуралізації деяких декоративних чужорідних видів. У зв'язку з цим ідентифікація таких видів і дослідження їхніх функціональних ознак важлива для прогнозування майбутніх фітоінвазій. Серед цих видів привертає увагу птелея трилиста *Ptelea trifoliata* L. (родина *Rutaceae*) – інтродуцент північноамериканського походження. Рослини цього виду – декоративні чагарники або невеликі дерева, що відзначаються високою декоративністю, оригінальною будовою крони, яскравим забарвленням листків та квіток з унікальним ароматом. Екстракти із різних частин рослини виявляють біологічну активність, що підтверджує перспективу подальших фармакогностичних досліджень цього виду. Однак, пігментний склад і спектральні показники квіток для ідентифікації птелеї трилистої дотепер не досліджувалися. Вперше визначено відбивальні та колориметричні характеристики пелюсток *P. trifoliata*. Підтверджена наявність флавоноїдів, каротиноїдів і хлорофілів *in vivo* за положеннями аналітичних максимумів та співвідношеннями їхніх інтенсивностей у спектрі відбиття. Використання диференціювання першого порядку спектральної кривої підвищило ступінь розділення максимумів світлопоглинальних сполук, локалізованих у поверхневих тканинах пелюсток. У результаті аналізу спектрального розподілу світлового потоку, що відбивається від пігментованої поверхні, отримано колориметричні параметри. Сукупність цих параметрів визначає кольоровий стимул, що зумовлює відповідне відчуття кольору досліджених квіток у спостерігача. Отримані результати можуть бути використані для ідентифікації ознаки забарвлення квіток птелеї трилистої, а також для підтвердження тотожності сировини цієї рослини при отриманні біологічно активних речовин.

Ключові слова: птелея трилиста, квітки, каротиноїди, хлорофіли, флавоноїди, відбивальні та колориметричні параметри

Цитування: Феденко В.С. Спектральні характеристики квіток декоративного виду *Ptelea trifoliata* L. Вісник Харківського національного університету імені В.Н. Каразіна. Серія «Біологія», 2026, 46, с. 93–99. <https://doi.org/10.26565/2075-5457-2026-46-8>

Про автора:

Феденко В. С. – Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара, проспект Науки, 72, Дніпро, Україна 49045; opticlub.fedenko@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-4696-6981>

Подано до редакції: 26.02.2026 / Прорецензовано: 04.04.2026 / Прийнято до друку: 13.05.2026 / Оприлюднено: 31.05.2026

Вступ

Одним із напрямів адвентизації флори вважають поширення натуралізованих чужорідних декоративних рослин поза межами території інтродукції у ботанічних садах (Marco et al., 2010). Проблема набула особливої актуальності у теперішній час, оскільки кліматичні зміни можуть знизити бар'єри для натуралізації деяких декоративних чужорідних видів. Так, при обстеженні об'єктів природно-заповідного фонду України виявлено 100 інвазійних видів судинних рослин, які потрапили на територію натуралізованими і перебувають у процесі розширення вторинного ареалу шляхом спонтанного поширення (Зав'ялова, 2017). У зв'язку з цим ідентифікація таких видів і дослідження їхніх функціональних ознак важливі для прогнозування майбутніх фітоінвазій (Haeuser et al., 2018; Jones et al., 2024).

Серед таких видів привертає увагу птелея трилиста *Ptelea trifoliata* L. (родина *Rutaceae*) інтродуцент північноамериканського походження (Talcott Stewart et al., 2022a). Рослини цього виду – декоративні чагарники або невеликі дерева, що відзначаються високою декоративністю, оригінальною будовою крони, яскравим забарвленням листків та квіток з унікальним ароматом (Talcott, Graves, 2020). Для *P. trifoliata* характерні дрібні зеленувато-білі жіночі та кремово-білі чоловічі квітки, які утворюють округлі суцвіття (Ambrose et al. 1985). Квітки мають віночок, який складається з п'яти, злегка загострених пелюсток (Ambrose et al. 1985). У процесі запилення квітки приваблюють різноманітну спільноту комах, що важливо для підтримки популяції запилювачів (Talcott Stewart et al., 2022b). Для птелеї трилистої характерне розповсюдження шляхом самосіву насіння (Ambrose et al., 1985).

У дослідженнях птелеї трилистої слід виділити декілька напрямів. Перший напрям пов'язаний із з'ясуванням інтродукційного потенціалу рослин цього виду. *P. trifoliata* представлена в колекціях дендрофлори ботанічних садів як об'єктів природно-заповідного фонду України (Зайцева, Долгова,

2010; Марченко та ін., 2022; Паращук, Левон, 2025), а також у міських парках (Дудин та ін., 2020). Для збереження різноманіття колекції ботанічного саду запропонована методика розмноження птелеї трилистої *in vitro* (Khazratov et al., 2025). В умовах інтродукції в ботанічному саду Дніпровського національного університету імені Олеся Гончара (ДНУ) цей вид відзначають як зимостійкий та засуhostійкий (Зайцева, Долгова, 2010). Як індикатори стресових реакцій *P. trifoliata* у помірному кліматі запропоновано вміст антоціанів та флавонолів у листках (Паращук, Левон, 2025). Завдяки стійкості до екстремальних умов, шкідників та хвороб для рослин *P. trifoliata* характерний інтенсивний розвиток та значне плодоношення в урбанізованому середовищі, що дає підстави розглядати цей вид як перспективний інтродуцент з метою розширення асортименту деревних рослин для ландшафтного будівництва (Мазепа та ін., 2002; Talcott, Graves, 2020). У зв'язку з цим представляють інтерес дослідження ознак декоративності цього виду. Аромат квіток обумовлений леткими хімічними речовинами (переважно монотерпенами, сесквітерпенами та ефірами) (Talcott Stewart et al., 2022a). Серед інших ознак декоративного потенціалу привертає увагу специфічність забарвлення квіток *P. trifoliata*. Вказану ознаку розглядають як складову комплексної оцінки декоративності, а також у контексті атрактивної ролі при взаємодії рослин із запилювачами, що визначає ефективність процесу плодоношення. Оскільки забарвлення квіток зумовлене селективним поглинанням і відбиттям світла пігментами, локалізованими в поверхневих тканинах, на нашу думку, найбільш адекватними методами дослідження є спектроскопія відбиття та колориметрія (van der Kooij et al., 2016). Однак, пігментний склад і спектральні характеристики, які визначають забарвлення квіток птелеї трилистої, дотепер не досліджені.

Інший напрям доцільно розглядати у контексті актуальності досліджень адвентизації флори шляхом поширення натуралізованих чужорідних декоративних рослин поза межами території інтродукції (Marco et al., 2010). За даними Зав'ялової (2017) птелея трилиста має значний вплив на видовому, ценотичному та екосистемному рівнях, що становить загрозу природному біорізноманіттю заповідних територій України. *P. trifoliata* як потенційно інвазійний ергазіофіт і геміагіофіт відзначено серед чужорідних рослин урбанофлори України (Burda, Koniakin, 2019). Цей натуралізований вид зафіксовано у складі адвентивної фракції деревних рослин м. Дніпро (Іванько та ін., 2024) та флори північного степового Придніпров'я (Varanovski et al., 2023). Інтенсивне поширення птелеї трилистої обумовлює необхідність дослідження характеристик цього чужорідного виду. Такими недослідженими характеристиками можуть слугувати спектральні параметри квіток, що нами доведено на прикладі деяких інвазійних рослин (Феденко, 2022, 2025).

Поряд із поширенням адвентивних рослин спостерігається інтенсивний розвиток напрямку практичного використання їхнього ресурсного потенціалу за різними призначеннями (Patil et al., 2026). У контексті цього тренду у результаті фармакогностичних досліджень встановлено фітохімічний склад ефірних олій із різних частин рослин (Takaku, Setzer, 2007; Steinberg et al., 2017; Setzer, Satyal, 2019), а також виявлена антибактеріальна і фунгіцидна активність екстрактів листків та пагонів птелеї трилистої (Zazharskyi et al., 2020). *P. trifoliata* використовують як інгредієнт деяких гомеопатичних засобів при респіраторних та травних розладах, ревматизмі та головних болях (Kuhn et al., 2025). Для підтвердження доцільності використання у дерматологічних і косметичних засобах досліджено вміст та компонентний склад фенольних сполук, що зумовлюють антиоксидантну, ферментомодулювальну та регенеративну активність екстрактів квіток птелеї трилистої (Kuhn et al., 2025). Для розширення сировинної бази лікарських рослин досліджена локалізація *P. trifoliata* у напівприродних зонах зеленої інфраструктури (Lukash et al., 2024) та різнотипних рослинних угрупованнях (Шелюк та ін., 2024). З огляду на перспективність застосування інструментальних методів для ідентифікації лікарської рослинної сировини (Феденко, 2024), необхідно провести дослідження спектральних характеристик квіток як фармакогностичних критеріїв для цього виду рослин.

Мета роботи – визначити відбивальні та колориметричні характеристики пелюсток птелеї трилистої.

Об'єкти та методи дослідження

Об'єктом дослідження були чоловічі квітки птелеї трилистої (*P. trifoliata*), відбір яких здійснювали на стадії цвітіння рослин у червні 2025 р. у ботанічному саду ДНУ.

Визначення спектральних характеристик пелюсток здійснювали одразу після відбору рослинного матеріалу. Для підготовки препарату для вимірювання відбивальних і колориметричних параметрів використовували стандартний тримач твердих зразків до спектрофотометра Specord M40 (Німеччина) із повним покриттям поверхні (діаметр 2 см).

Спектри відбиття реєстрували в діапазоні 350–800 нм за допомогою спектрофотометра Specord M40, додатково обладнаного приставкою з фотометричною кулею (інтегрувальна сфера), яка збирає все світло, що відбивається від зразка і дозволяє врахувати не тільки дзеркальну, а й розсіяну (дифузну) складову випромінювання. Для диференціювання і згладжування спектральних

кривих із виключенням випадкових шумових піків до спектрофотометра додатково приєднували касету «Data Handling I» для математичної обробки результатів вимірювання (Феденко, 2022). Корекцію 100%-ої лінії проводили за стандартом білого кольору (MgO), оптичної нульової точки – за стандартом чорного порожнистого тіла. Інтенсивність спектрів відбиття наводили в одиницях абсорбції. Віднесення максимумів у спектрі відбиття пелюсток до певного класу пігментів здійснювали відповідно до літературних даних щодо спектрів поглинання індивідуальних сполук і спектрів відбиття рослинних тканин (Kuhn et al., 2025; Karg et al., 2025). Як порівняльні показники відносного вмісту пігментів розраховували співвідношення інтенсивностей максимумів відносно оптичної густини короткохвильового максимуму.

Для колориметричних вимірювань використовували спектрофотометр Specord M40 з іншою касетою для математичної обробки «Color Measurement». Координати кольору (X, Y, Z) та координати кольоровості (x, y) визначали в системі CIE XYZ. Домінуючу довжину хвилі λ_d та умовну чистоту кольорового тону P_e встановлювали графічним способом за координатами зразків у кольоровому просторі (Феденко, 2022). У колориметричній системі CIE $L^*a^*b^*$ визначали інтегральний коефіцієнт яскравості L^* та колориметричні коефіцієнти a^* (співвідношення зеленого та червоного складників кольору) і b^* (співвідношення синього та жовтого складників кольору).

При проведенні досліджень вибірка складала 10 – 15 рослин, а в кожному варіанті досліджу було не менше 3-х повторень. Результати наведені як середні величини зі стандартним відхиленням.

Результати та обговорення

Встановлено відбивальні та колориметричні характеристики, пов'язані із селективним поглинанням пігментами за довжиною хвилі та розсіюванням світла структурами тканин (De Paola et al., 2026). Попри ефекти розсіювання світла, присутність характерних максимумів у спектрах відбиття дозволяє ідентифікувати пігменти в інтактних тканинах (De Paola et al., 2026). У спектрах відбиття пелюсток (рис. 1) спостерігались максимуми різних світлопоглинальних сполук. Короткохвильовий максимум при 400 (λ_1) нм віднесено до УФ-поглинальних флавоноїдів, серед яких у квітках *P. trifoliata* ідентифіковані рутин (кверцетин-3-О-рутинозид), гіперозид (кверцетин-3-О-галактозид) і астрагалін (кемпферол-3-О-глюкозид) (Kuhn et al., 2025). Інші максимуми у спектрі пов'язані із фотосинтетичними пігментами: каротиноїди і смуга Core хлорофілів – 440 (λ_2) і 485 (λ_3) нм, продукти катаболізму хлорофілів – 590 (λ_4) і 620 (λ_5) нм, Q-смуга хлорофілів – 677 (λ_6) нм (Karg et al., 2025). Специфічна особливість спектру відбиття пелюсток дослідженого виду підтверджена розрахунком співвідношень інтенсивності виявлених максимумів. Такі порівняльні показники відображають характерну ідентичність пелюсток, пов'язану з відносним вмістом пігментів, локалізованих у поверхневих тканинах, які безпосередньо взаємодіють із випромінюванням видимого діапазону. Співвідношення інтенсивностей розраховані відносно оптичної густини короткохвильового максимуму A_1 і представлені у табл. 1. Величина співвідношення A_6/A_1 (0,98) свідчить про порівняльну інтенсивність максимумів λ_1 і λ_6 . Інтенсивність максимумів λ_2 і λ_3 відносно максимуму λ_1 була вищою на 9 і 6 % відповідно, а інтенсивність максимумів λ_4 , λ_5 – нижчою на 42 і 34 % відповідно, що підтверджено значеннями A_2/A_1 , A_3/A_1 , A_4/A_1 і A_5/A_1 .

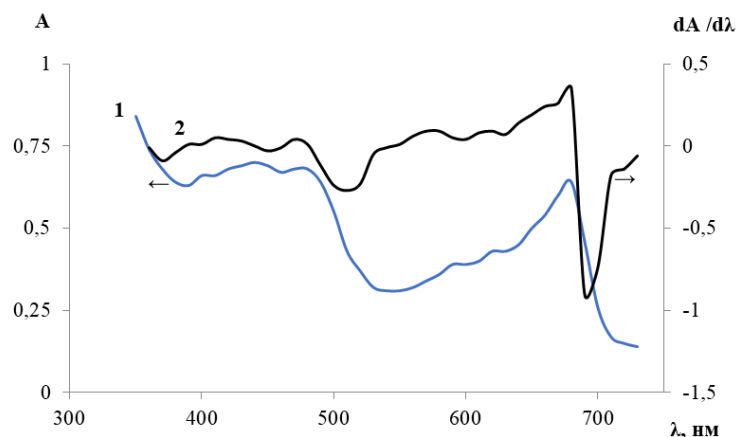


Рис. 1. Спектр відбиття (1) і перша похідна спектру (2) пелюсток *P. trifoliata*
Fig. 1. Reflectance spectrum (1) and first derivative of the spectrum (2) of *P. trifoliata* petals

Табл. 1. Характеристика спектру відбиття пелюсток *P. trifoliata* / Table 1. Characteristics of the reflectance spectrum of *P. trifoliata* petals

Положення максимуму, нм	Інтенсивність максимуму	Співвідношення інтенсивностей максимумів
λ_1 400	A_1 0,64 ± 0,03	-
λ_2 440	A_2 0,70 ± 0,03	A_2/A_1 1,09 ± 0,05
λ_3 485	A_3 0,68 ± 0,02	A_3/A_1 1,06 ± 0,04
λ_4 590	A_4 0,37 ± 0,01	A_4/A_1 0,58 ± 0,03
λ_5 620	A_5 0,42 ± 0,02	A_5/A_1 0,66 ± 0,03
λ_6 677	A_6 0,63 ± 0,03	A_6/A_1 0,98 ± 0,04

Ураховуючи важливість ідентифікації біоактивних флавоноїдів у сировині квіток дослідженого виду (Kuhn et al., 2025), для підвищення інформативності діагностики проведено диференціювання першого порядку спектральної кривої відбиття з метою збільшення ступеня розділення максимумів. У першій похідній спектра пелюсток *P. trifoliata* можна відокремити шість смуг, кожна з яких складалася із відповідних максимуму і мінімуму (рис. 1). Положення цих екстремумів на спектральній кривій наведено у табл. 2.

Табл. 2. Характеристика смуг першої похідної спектру відбиття пелюсток *P. trifoliata* / Table 2. Characteristics of the bands of the first derivative of the reflectance spectrum of *P. trifoliata* petals

Смуга	$\lambda_{\text{макс}}$, нм	$\lambda_{\text{мін}}$, нм
I	382 ± 0,9	400 ± 1,2
II	412 ± 1,4	452 ± 1,6
III	472 ± 1,1	507 ± 1,3
IV	573 ± 1,3	598 ± 1,7
V	612 ± 1,6	626 ± 1,4
VI	666 ± 1,5	690 ± 1,8

У результаті диференціювання спектральної кривої виявлено більш виражені смуги, які відповідають максимумам у спектрі. У першій похідній спектра наявна короткохвильова смуга I ($\lambda_{\text{макс}}$ 382 — $\lambda_{\text{мін}}$ 400 нм), зумовлена УФ-поглинальними флавоноїдами. Як аргумент на підтвердження інтерпретації результатів слід відзначити наявність близької за положенням смуги ($\lambda_{\text{макс}}$ 384 — $\lambda_{\text{мін}}$ 438 нм) у першій похідній спектра відбиття суміші стандартного рутину з оксидом алюмінію (Феденко, 2022). Слід також зазначити, що рутин є домінантною сполукою у складі флавоноїдів квіток *P. trifoliata* (Kuhn et al., 2025).

Наявність у спектрах відбиття інтенсивних максимумів фотосинтетичних пігментів визначила кольоровий стимул пелюсток у діапазоні жовто-зеленого кольору системи CIE XYZ ($\lambda_d = 573,6$ нм, $P_e = 37,5$ %). У колориметричній системі CIE $L^*a^*b^*$ загальна здатність пігментованої поверхні пелюсток до відбиття світлового потоку у видимому діапазоні спектра охарактеризована інтегральним коефіцієнтом яскравості L^* (71,9). Від'ємні значення колориметричних коефіцієнтів a^* і b^* (-18,7 і -20,5 відповідно) також підтвердили координати пелюсток у жовто-зеленому діапазоні кольорової моделі CIE $L^*a^*b^*$.

Отримані результати слід проаналізувати з урахуванням зазначених напрямів досліджень *P. trifoliata*. У контексті декоративності ознаки забарвлення квіток підтверджено перспективність сучасного підходу з використанням спектроскопії відбиття та колориметрії (van der Kooi et al., 2016). По-перше, сукупність відбивальних характеристик (положення аналітичних максимумів, співвідношення їхніх інтенсивностей) пігментів підтверджує природу забарвлення і може слугувати інструментально визначеним критерієм декоративності. По-друге, аналіз спектрального розподілу світлового потоку, що відбивається від пігментованої поверхні, пояснює формування кольорового стимулу, який зумовлює відповідне зорове відчуття досліджених квіток у спостерігача.

У контексті поширення поза межами території інтродукції отримані спектральні характеристики пелюсток слід розглядати як одну з функціональних ознак цього натуралізованого чужорідного декоративного виду (Naеuser et al., 2018; Jones et al., 2024).

Відповідно до напрямку використання ресурсного потенціалу чужорідних рослин (Patil et al., 2026) спектральні характеристики пелюсток можуть слугувати критеріями ідентифікації сировини птелеї трилистої. При цьому важливим є застосування похідної спектрофотометрії для підвищення

достовірності ідентифікації флавоноїдів як біоактивних компонентів під час використання сировини квіток з метою отримання дерматологічних та косметичних засобів (Kuhn et al., 2025).

Висновки

Вперше визначено відбивальні та колориметричні характеристики пелюсток *P. trifoliata*, для якого характерне поширення як натуралізованого чужорідного декоративного виду поза межами території інтродукції.

Підтверджена наявність флавоноїдів, каротиноїдів і хлорофілів *in vivo* за положеннями аналітичних максимумів та співвідношеннями їхніх інтенсивностей у спектрі відбиття. Використання диференціювання першого порядку спектральної кривої підвищило ступінь розділення максимумів світлопоглинальних сполук, локалізованих у поверхневих тканинах пелюсток.

У результаті аналізу спектрального розподілу світлового потоку, що відбивається від пігментованої поверхні, отримано колориметричні параметри. Сукупність цих параметрів визначає кольоровий стимул, який викликає відповідне зорове відчуття кольору досліджених квіток у спостерігача.

Результати можуть бути застосовані для ідентифікації ознаки забарвлення квіток птелеї трилистої, а також для підтвердження тотожності сировини цієї рослини при отриманні препаратів біомедичного призначення.

Література / References

- Дудин Р. Б., Фітак М. М., Фалко І. І. (2020). Наукові засади відновлення парку імені Івана Франка у м. Львові. *Наукові доповіді Національного університету біоресурсів і природокористування України*, 16(2), 227-237. [Dudyn R., Fitak M., Falko I. (2020). Scientific principles for the renewal of the Ivan Franko park in Lviv city. *Scientific Reports of the National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine*, 16(2), 227-237] (in Ukrainian) <https://doi.org/10.31548/dopovidi2020.02.020>
- Зав'ялова Л. В. (2017). Види інвазійних рослин, небезпечні для природного фіторізноманіття об'єктів природно-заповідного фонду України. *Біологічні системи*, 9(1), 87-107. [Zavialova L. V. (2017). The most harmful invasive plant species for native phytodiversity of protected areas of Ukraine. *Biological Systems*, 9(1), 87-107] (in Ukrainian)
- Зайцева І. О., Долгова Л. Г. (2010). Фізіолого-біохімічні основи інтродукції деревних рослин у Степовому Придніпров'ї. Дніпропетровськ: Вид-во Дніпропетр. нац. ун-ту. 388 с. [Zaitseva I. O., Dolgova L. G. (2010). Physiological and biochemical foundations of the introduction of woody plants in the Steppe Dnieper Region. Dnipropetrovsk: Dnipropetrovsk National University. 388 p.] (in Ukrainian)
- Іванько І. А., Барановський Б. О., Кабар А. М., Кармизова Л. О., Голобородько К. К., Дідур О. О. (2024). Сучасне різноманіття та динаміка дендрофлори мегаполісу субаридної зони (м. Дніпро). Дніпро: ЛІРА. 196 с. [Ivanko I. A., Baranovsky B. O., Kabar A. M., Karmyzova L. O., Holoborodko K. K., Didur O. O. (2024). Modern diversity and dynamics of dendroflora in the megalopolis located in subarid zone (Dnipro city). Dnipro: LIRA. 196 p.] (in Ukrainian)
- Мазепа М., Артемовська Д., Ган Т. (2002). Підбір інтродукованих видів для асортименту міських насаджень. *Вісник Прикарпатського університету імені Василя Стефаника. Серія Біологія*, 2, 19-24. [Mazepa M., Artemovska D., Gun T. (2002). Selection of introduced species for the assortment of city planting. *Bulletin of the Vasyl Stefanyk Precarpathian University. Biology Series*, 2, 19-24] (in Ukrainian)
- Марченко А. Б., Роговський С. В., Олешко О. Г., Струтинська Ю. В. (2022). Дендрофлора ботанічного саду БНАУ та перспективи її збагачення у зв'язку із розвитком території як об'єкта природно-заповідного фонду. *Агробіологія*, 2, 161–181. [Marchenko A., Rogovsky S., Oleshko O., Strutynska Y. (2022). Dendroflora of the BNAU botanical garden and the prospects for its enrichment in connection with the development of the territory as an object of the nature reserve fund. *Agrobiology*, 2, 161–181] (in Ukrainian) <https://doi.org/10.33245/2310-9270-2022-174-2-161-18>
- Паращук О. А., Левон В. Ф. (2025). Вміст антоціанів і флавонолів у листках представників родини Rutaceae Juss як маркерів стресостійкості. *Journal of Native and Alien Plant Studies*, 21, 187-200. [Parashchuk O., Levon V. (2025). Anthocyanins and flavonols content in leaves of Rutaceae Juss family representatives as markers of stress tolerance. *Journal of Native and Alien Plant Studies*, 21, 187–200] (in Ukrainian) <https://doi.org/10.37555/2707-3114.21.2025.346435>
- Феденко В. С. (2022). Хемосорбція флавоноїдів золотушника канадського на оксиді алюмінію. *Journal of Chemistry and Technologies*, 30(3), 340–348. [Fedenko V. S. (2022). Chemisorption of flavonoids from canadian goldenrod on aluminum oxide. *Journal of Chemistry and Technologies*, 30(3), 340–348] (in Ukrainian) <https://doi.org/10.15421/jchemtech.v30i3.262972>

- Феденко В. С. (2024). Спектральні характеристики надмолекулярного пігменту протоціаніну як фармакогностичні критерії квіток *Centaurea cyanus* L. *Journal of Chemistry and Technologies*, 32(2), 256-266. [Fedenko V. S. (2024b). Spectral characteristics of protocyannin supramolecular pigment as pharmacognostic criteria of *Centaurea cyanus* L. flowers. *Journal of Chemistry and Technologies*, 32(2), 256-266] (in Ukrainian) <https://doi.org/10.15421/jchemtech.v32i2.298075>
- Феденко В. С. (2025). Спектральні характеристики квіток інвазійного виду-геліофіту *Erigeron canadensis* L. *Вісник Харківського національного університету імені В. Н. Каразіна. Серія «Екологія»*, 32, 134–145. [Fedenko V. S. (2025b). Flowers spectral characteristics of the invasive heliophyte species *Erigeron canadensis* L. *Visnyk of V. N. Karazin Kharkiv National University. Series Ecology*, 32, 134–145] (in Ukrainian) <https://doi.org/10.26565/1992-4259-2025-32-10>
- Шелюк Ю. С., Астахова Л. Є., Осецька Л. С. (2024). Смолоносні рослини різнотипних рослинних угруповань Центрального Полісся. *Український журнал природничих наук*, 7, 52-62. [Shelyuk Yu. S., Astakhova L. E., Osetska L. S. (2024). Resin-bearing plants of various types of plant communities of the Central Polissia. *Ukrainian Journal of Natural Sciences*, 7, 52-62] (in Ukrainian) <https://doi.org/10.32782/naturaljournal.7.2024.6>
- Ambrose J. D., Kevan P. G., Gadawski R. M. (1985). Hop tree (*Ptelea trifoliata*) in Canada: population and reproductive biology of a rare species. *Canadian Journal of Botany*, 63(11), 1928-1935.
- Baranovski B. A., Karmyzova L. A., Dubyna D. V., Shevera M. V. (2023). Bioecology and hemeroby of flora species in the Northern Steppe Dnipro Region. *Biosystems Diversity*, 31(4), 548–577. <https://doi.org/10.15421/012365>
- Burda R. I., Koniakin S. N. (2019). The non-native woody species of the flora of Ukraine: Introduction, naturalization and invasion. *Biosystems Diversity*, 27(3), 276–290. <https://doi.org/10.15421/011937>
- De Paola L., Veldhuis T. A., Kraaij M., Stavenga D. G., Tiedge K. J., van der Kooij C. J. (2026). Stacked scattering: The key to bright flowers lies in the mesophyll. *American Journal of Botany*, 113(1), e70104. <https://doi.org/10.1002/ajb2.70104>
- Haeuser E., Dawson W., Thuiller W., Dullinger S., Block S., Bossdorf O., Carboni M., Conti L., Dullinger I., Essl F., Klöner G., Moser D., Münkemüller T., Parepa M., Talluto L., Kreft H., Pergl J., Pyšek P., Weigelt P., Winter M., Hermy M., Van der Veken S., Roquet C., van Kleunen M. (2018). European ornamental garden flora as an invasion debt under climate change. *Journal of Applied Ecology*, 55(5), 2386-2395. <https://doi.org/10.1111/1365-2664.13197>
- Jones T. S., Culham A., Pickles B. J., David J. (2024). Can gardeners identify ‘future invaders’? *NeoBiota*, 91, 125-144. <https://doi.org/10.3897/neobiota.91.110560>
- Karg C. A., Taniguchi M., Lindsey J. S., Moser S. (2023). Phyllobilins—Bioactive natural products derived from chlorophyll—Plant origins, structures, absorption spectra, and biomedical properties. *Planta Medica*, 89(06), 637-662. <https://doi.org/10.1055/a-1955-4624>
- Khazratov A. T., Juraeva H. K., Akhmedova V. U., Mustafina F. U., Abdinazarov S. K. (2025). Conservation of the diversity of botanical garden collection with the use of in vitro techniques with example of *Ptelea trifoliata* L. (Rutaceae Juss.). *Ecological Bulletin of Kryvyi Rih District*, 9, 66-72.
- Kuhn P., Sobiak J., Plech T., Rosiak N., Cielecka-Pionte, J., Karaźniewicz-Łada M., Studzińska-Sroka E. (2025). Bioactive potential of *Ptelea trifoliata* flower extracts: antioxidant, enzyme-modulating, and wound healing activities with possible biomedical and dermal applications. *Applied Sciences*, 16(1), 88. <https://doi.org/10.3390/app16010088>
- Lukash O., Stupak Yu., Morskyi V., Aravin M. (2024). Adventive tree and shrub plant species with medicinal properties in the Chernihiv city's green infrastructure. *Biota. Human. Technology*, 1, 9-18. <https://doi.org/10.58407/bht.1.24.1>
- Marco A., Lavergne S., Dutoit T., Bertaudiere-Montes V. (2010). From the backyard to the backcountry: how ecological and biological traits explain the escape of garden plants into Mediterranean old fields. *Biological Invasions*, 12(4), 761-779. <https://doi.org/10.58407/bht.1.24.1>
- Patil P., Divya M. P., Parthiban K. T., Balasubramanian A., Varadha Raj S., Ravi R., Ashick Rajah R. (2026) Strategic valorization of invasive alien plants: A bioeconomic review for sustainable product development. *Frontiers in Plant Science*, 16, 1697102. <https://doi.org/10.3389/fpls.2025.1697102>
- Setzer W. N., Satyal P. (2019). Essential oil compositions of male and female flowers of *Ptelea trifoliata*. *American Journal of Essential Oils and Natural Products*, 7(4), 18-22.
- Steinberg K. M., Satyal P., Setzer W. N. (2017). Bark essential oils of *Zanthoxylum clava-herculis* and *Ptelea trifoliata*: Enantiomeric distribution of monoterpenoids. *Natural Product Communications*, 12(6), 1934578X1701200632. <https://doi.org/10.1177/1934578X1701200632>

- Takaku S., Setzer W. N. (2007). Chemical composition of the leaf essential oil of *Ptelea trifoliata*. *Journal of Essential Oil Bearing Plants*, 10(2), 104-108. <https://doi.org/10.1080/0972060X.2007.10643527>
- Talcott A. J., Graves W. R. (2020). Cold stratification and pericarp removal improve seed germination of *Ptelea trifoliata* and *Ptelea crenulata*. *HortScience*, 55(4), 503-506. <https://doi.org/10.21273/HORTSCI14693-19>
- Talcott Stewart A. J., Boylston T., Wilson L., Graves W. R. (2022a). Floral aromatics of *Ptelea*: Chemical identification and human response. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, 147(1), 25-34. <https://doi.org/10.21273/JASHS05119-21>
- Talcott Stewart A. J., O'Neal M. E., Graves W. R. (2022b). Insect floral visitors of *Ptelea trifoliata* (Rutaceae) in Iowa, United States. *Annals of the Entomological Society of America*, 115(5), 378-386. <https://doi.org/10.1093/aesa/saac012>
- van der Kooij C. J., Elzenga J. T. M., Staal M., Stavenga D. G. (2016). How to colour a flower: on the optical principles of flower coloration. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, 283, 20160429. <http://dx.doi.org/10.1098/rspb.2016.0429>
- Zazharskyi V. V., Davydenko P. O., Kulishenko O. M., Borovik I. V., Zazharska N. M., Brygadyrenko V. V. (2020). Antibacterial and fungicidal activities of ethanol extracts of 38 species of plants. *Biosystems Diversity*, 28(3), 281-289. <https://doi.org/10.15421/012037>

Spectral characteristics of flowers of the ornamental species *Ptelea trifoliata* L. V.S. Fedenko

One of the directions of flora adventitization is considered to be the spread of naturalized alien ornamental plants outside the territory of introduction in botanical gardens. The problem has become particularly relevant in modern conditions, since climate change may reduce the barriers to naturalization for some ornamental alien species. In this regard, the identification of such species and the study of their functional characteristics are important for predicting future phytoinvasions. Among these species, the common hoptree *Ptelea trifoliata* L. (family *Rutaceae*) - an introducer of North American origin - attracts attention. Plants of this species are ornamental shrubs or small trees, characterized by high decorativeness, original crown structure, bright color of leaves and flowers with a unique aroma. Extracts from different parts of the plant exhibit biological activity, which confirms the prospect of further pharmacognostic studies of this species. However, the pigment composition and spectral indicators of flowers for the identification of common hoptree have not yet been studied. The reflective and colorimetric characteristics of *P. trifoliata* petals were determined for the first time. The presence of flavonoids, carotenoids, and chlorophylls *in vivo* was confirmed by the position of analytical maxima and the ratios of their intensities in the reflection spectrum. The use of first-order differentiation of the spectral curve increased the degree of separation of the maxima of light-absorbing compounds localized in the surface tissues of the petals. As a result of the analysis of the spectral distribution of the light flux reflected from the pigmented surface, colorimetric parameters were obtained. The combination of these parameters determines the color stimulus, which defines the corresponding perception of the color of the studied flowers by the observer. The results obtained can be used to identify the color feature of common hoptree flowers, as well as to confirm the identity of the raw materials of this plant when obtaining biologically active substances.

Key words: common hoptree, flowers, carotenoids, chlorophylls, flavonoids, reflectance and colorimetric parameters

Cite this article: Fedenko S. Spectral characteristics of flowers of the ornamental species *Ptelea trifoliata* L. *Вісник Харківського національного університету імені В.Н. Каразіна. Серія «Біологія»*, 2026, 46, с. 93-99. <https://doi.org/10.26565/2075-5457-2026-46-8> (In Ukrainian)

About the author:

Fedenko V.S. – Oles Honchar Dnipro National University, Nauky Avenue, 72, Dnipro, Ukraine, 49045; opticlub.fedenko@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-4696-6981>

Use of Artificial Intelligence: The authors certify that no generative artificial intelligence tools were used in the conduct of the research or in the preparation of this manuscript. / **Використання штучного інтелекту:** Автори засвідчують, що під час проведення дослідження та підготовки цього рукопису генеративний штучний інтелект не використовувався.

Received: 26.02.2026 / Revised: 04.04.2026 / Accepted: 13.05.2026 / Published: 31.05.2026

ПРАВИЛА ДЛЯ АВТОРІВ
журналу «Вісник Харківського національного
університету імені В. Н. Каразіна. Серія «Біологія»

У журналі публікуються результати досліджень за всіма напрямками біологічних наук. До публікації приймаються:

- закінчені оригінальні роботи, що досі ніде не видавалися;
- описи оригінальних методів та приладів;
- теоретичні та оглядові статті;
- матеріали та повідомлення про події наукового життя;
- рецензії на книги.

Статті друкуються українською та англійською мовами.

Текст експериментальної статті має складатися з наступних розділів: «Вступ», «Методика» («Об'єкти та методи дослідження»), «Результати», «Обговорення» (можливий об'єднаний розділ «Результати та обговорення»), «Перелік посилань». Тексти статей повинні бути виконані у редакторі Ms Word з використанням шрифту Arial – 10 pt; абзац – 1 см; міжрядковий інтервал – одинарний; поля: верхнє та нижнє – 3,5 см; лівє – 2,5 см, правє – 2 см. Текст статті починається з індексу УДК, далі заголовок (Arial – 12 pt), ініціали та прізвища авторів (Arial – 10 pt), повні назви наукових установ, адреси електронної пошти (Arial – 9 pt). Анотація розміщується під «шапкою» статті мовою оригіналу (Arial – 9 pt). Під анотацією друкуються список ключових слів (не більше 10). Далі друкуються анотації (Arial – 9 pt) англійською і українською мовами разом із транскрипціями прізвищ авторів, перекладом назви роботи і відповідними списками ключових слів. Обсяг кожного з трьох резюме – не менш ніж 1800 фонетичних символів. Таблиці і рисунки розміщуються у тексті. Назви таблиць і рисунків та примітки до них подаються українською та англійською мовами. Посилання на літературу у тексті подаються у круглих дужках із вказуванням прізвища автора та року видання. Список використаних джерел оформлюється за алфавітом (спочатку – джерела кирилицею, потім – латиницею), без нумерації.

Бібліографічний опис джерел та посилань у тексті виконується відповідно до вимог МОН України, зокрема – ДСТУ 8302:2015, але у варіанті, наближеному до норм стилю APA (American Psychological Association). При описі друкованого джерела обов'язково слід зазначити місце видання (місто), видавництво, рік видання, загальну кількість сторінок (у періодичних виданнях – сторінки статті). Бібліографічний опис джерел англійською мовою (References) оформлюється відповідно до норм стилю APA (American Psychological Association). Джерела після слова «References» розташовуються за англійським алфавітом, без нумерації. До посилань обов'язково треба додавати DOI, якщо він присвоєний.

Після розділу «Перелік посилань» у статті обов'язково подаються декларації про внесок авторів, Конфлікт інтересів та Використання штучного інтелекту українською та англійською мовами.

Електронні версії статей надсилаються до редакції електронною поштою. Разом з електронною версією до редакції надсилається друкована копія, підписана авторами. На окремій сторінці вказують прізвища та ініціали усіх авторів, повні назви наукових установ та поштові адреси установ, адреси електронної пошти авторів та посилання на їх профілі у мережі ORCID. Ця інформація наводиться українською та англійською мовами.

Стаття, яка надходить до редакції, реєструється та направляється до рецензента, який підписує статтю до друку або відхиляє її. При наявності зауважень статтю повертають авторам для доопрацювання.

AUTHOR GUIDELINES
The Journal of V. N. Karazin Kharkiv National
University. Series «Biology»

The journal publishes research findings across all areas of biological sciences. Submissions are accepted in the following categories:

- Completed original studies that have not been published elsewhere;
- Descriptions of original methods and instruments;
- Theoretical and review articles;
- Materials and reports on scientific events;
- Book reviews.

Articles are published in Ukrainian and English.

The text of an experimental article must include the following sections: “Introduction,” “Methods” (“Objects and Methods of Research”), “Results,” “Discussion” (or a combined section “Results and Discussion”), and “References.” Articles should be prepared in MS Word using Arial font, 10 pt; paragraph indent – 1 cm; single line spacing; margins: top and bottom – 3.5 cm, left – 2.5 cm, right – 2 cm.

The article text begins with the UDC index, followed by the title (Arial, 12 pt), authors' initials and surnames (Arial, 10 pt), full names of scientific institutions, and email addresses (Arial, 9 pt). An abstract in the original language of the article is placed under the header (Arial, 9 pt), followed by a list of up to 10 keywords. Abstracts (Arial, 9 pt) in English and Ukrainian must also be included, along with the transliterations of the authors' names, the translated title of the article, and the corresponding keywords. Each abstract must be no less than 1,800 phonetic characters.

Tables and figures should be embedded in the text. Titles, captions, and notes for tables and figures must be provided in both Ukrainian and English.

References in the text should appear in parentheses, indicating the author's surname and the year of publication. The reference list is arranged alphabetically (first in Cyrillic, then in Latin script) without numbering. Bibliographic descriptions must comply with the standards of the Ministry of Education and Science of Ukraine, specifically DSTU 8302:2015, adapted to APA style (American Psychological Association). Descriptions of printed sources must include the place of publication (city), publisher, year, and total page count (or article pages for periodicals).

References in English should be formatted according to APA style and listed under “References”, arranged alphabetically without numbering. DOIs must be included if assigned.

After the References section, the manuscript must include declarations on Authors' Contributions, Conflict of Interest, and Use of Artificial Intelligence, provided in both Ukrainian and English.

Electronic versions of articles should be submitted via email to the editorial office. Along with the electronic version, a printed copy signed by all authors must also be provided.

A separate page should include the authors' surnames and initials, full names of scientific institutions, postal addresses, email addresses, and links to their ORCID profiles. This information must be provided in both Ukrainian and English.

Articles submitted to the editorial office are registered and sent for peer review. The reviewer either approves the article for publication or rejects it. If revisions are required, the article is returned to the authors for correction.

Наукове видання

**Вісник Харківського національного
університету імені В. Н. Каразіна.**

Серія «Біологія»

Випуск 46

Збірник наукових праць

Українською, англійською мовами

Підписано до друку 20.05.2026. Формат 60×84 1/8. Папір офсетний. Друк цифровий.

Ум. друк. арк. 15,26. Обл.-вид. арк. 19,08.

Наклад 100 пр. Зам. № 16/25

**61022, Харків, майдан Свободи, 4,
Харківський національний університет імені В. Н. Каразіна.**

**Видавець і виготовлювач Харківський
національний університет імені В. Н. Каразіна**

61022, Харків, майдан Свободи, 4.

Видавництво

Свідоцтво суб'єкта видавничої справи ДК № 3367 від 13.01.09